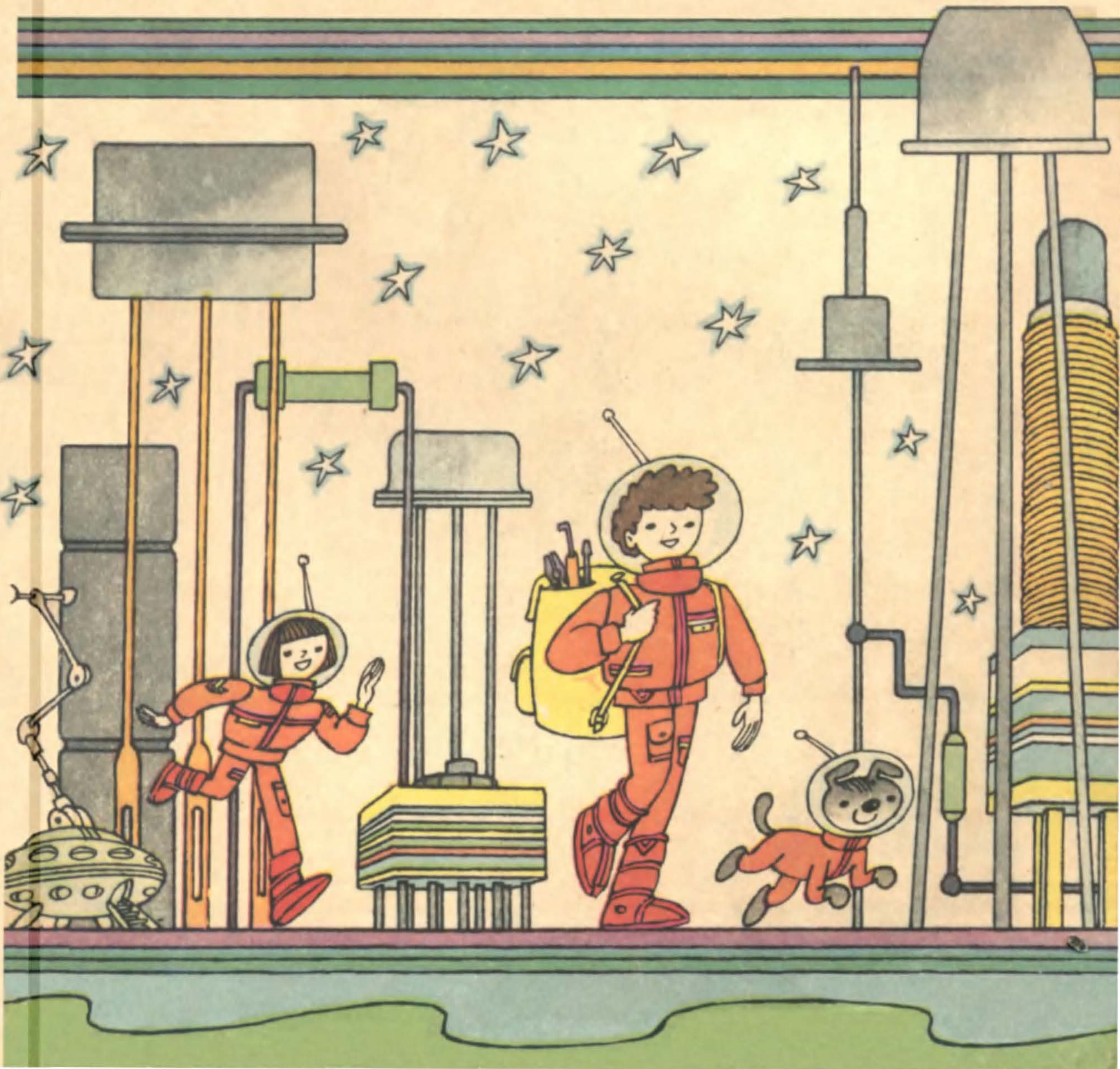
В.Г.Борисов • Юный радиолюбитель

В.Г.Борисов

МрБ

Юный радиолюбитель



МРБ Массовая радиобиблиотека

Основана в 1947 году
Выпуск 1160

В. Г. Борисов

Юный радиолюбитель

Издание восьмое, переработанное и дополненное

Москва
«Радио и связь»
1992

Scan AAW

ББК 32.85
Б 82
УДК 621.396.6.001.92

Редакционная коллегия:

Б. Г. Белкин, С. А. Бирюков, В. Г. Борисов, В. М. Бондаренко, Е. Н. Геништа, А. В. Гороховский, С. А. Ельяшкевич, И. П. Жеребцов, В. Т. Поляков, А. Д. Смирнов, Ф. И. Тарасов, О. П. Фролов, Ю. Л. Хотунцев, Н. И. Чистяков

Борисов В. Г.

Б 82 Юный радиолюбитель.— 8-е изд., перераб. и доп.— М.: Радио и связь, 1992.— 416 с.: ил.— (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1160).

ISBN 5-256-00487-5.

В форме популярных бесед книга знакомит юного читателя с историей и развитием радио, с элементарной электро- и радиотехникой, электроникой. Содержит большое число описаний различных по сложности любительских радиовещательных приемников и усилителей звуковой частоты с питанием от источников постоянного и переменного тока, измерительных пробников и приборов, автоматически действующих электронных устройств, простых электро- и цветомузыкальных инструментов, радиотехнических игрушек и аттракционов, аппаратуры для телеуправления моделями, для радиоспорта. Даются справочные материалы. Седьмое издание книги вышло в 1985 г. Материал настоящего издания значительно обновлен.

Для широкого круга юных радиолюбителей.

Б $\frac{2302020000-059}{046(01)-92}$ 44-91 **ББК 32.85**

ISBN 5-256-00487-5

© Борисов В. Г., 1992

ЗДРАВСТВУЙ, ЮНЫЙ ДРУГ!

От всей души приветствую твое желание влиться в ряды многочисленного отряда сверстников, интересующихся радиотехникой, электроникой, радиотехническим конструированием и радиоспортом! Всем, сидящим сейчас за классной партой, радиолюбительство поможет закрепить на практике знания основ наук, получаемые в школе, приобщит к общественно полезному труду, расширит общетехнический кругозор. Тебе, а также кружкам и клубам юных радиолюбителей, организуемым в общеобразовательных школах, ПТУ, внешкольных учреждениях, и предназначается эта книга.

Первое издание «Юного радиолюбителя» вышло в 1951 г. и сразу же завоевало популярность среди школьников. За минувшие сорок лет эта книга неоднократно обновлялась и переиздавалась и всегда пользовалась у юных читателей неизменным успехом. В каждом последующем издании учитывались достижения радиоэлектроники и ее изменяющаяся элементная база.

И вот очередное, восьмое издание этой книги. В нем, как и в предыдущих изданиях, учтены предложения и пожелания, высказанные многими читателями в письмах и на конференциях юных радиолюбителей, проведенных в различных городах страны, на слетах юных техников. Кроме того, в нем значительно расширены и обновлены описания радиотехнических устройств и приборов, предлагаемых читателям для самостоятельного изготовления. В целом же книга является обобщением опыта радиоконструкторских и радиоспортивных кружков школ и внешкольных учреждений.

Юный друг, эта книга — всего лишь Букварь, который поможет тебе сделать первые шаги к познанию Большой радиотехники и ее спутницы — электроники. Но на этом коротком участке пути к заветной цели тебя ожидают и трудности, которые придется преодолевать, и, конечно же, радости успехов.

Сначала я познакомлю тебя с некоторыми событиями, имеющими прямое отношение к истории радио, начну строить и налаживать простенькие приемники, на примере которых ты будешь познавать азбучные истины основ электро- и радиотехники. Не теряйся, если на этом этапе ты почувствуешь себя первоклассником, как это было несколько лет назад, когда ты впервые перешагнул порог школы. Затем начнешь изучать и конструировать измерительные приборы, без чего просто нельзя переходить к освоению более сложной радиоаппаратуры. Потом...

Впрочем, не будем забегать вперед. Всему свое время. Сейчас же запомни главное: если хочешь стать радиолюбителем не на словах, а на деле, накапливай знания, опыт, вырабатывай в себе упорство и настойчивость в достижении цели. Не пасуй перед трудностями. Тогда на твоем пути к познанию чудесницы-радиотехники будет открыта широкая дорога, придет уверенность в своих силах, а она непременно станет приносить радости творчества.

Желаю тебе на этом пути больших успехов!

БЕСЕДА ПЕРВАЯ

ИСТОКИ РАДИО

Рождением радио человечество обязано выдающемуся русскому ученому-физику Александру Степановичу Попову. Изобретенное им беспроводное средство связи было логическим продолжением и развитием учения об электричестве, история которого уходит в глубину веков. Но в этой первой беседе я не собираюсь посвящать тебя во все открытия, исследования и во все этапы практического использования магнитных и электрических явлений природы, лежащих в основе радиотехники. Это было бы слишком длинно и, может быть, даже скучно сейчас для тебя. Я расскажу лишь о самом главном, на мой взгляд, из этой истории — о наиболее важных явлениях природы, без знания которых ты не сможешь оценить и толком осмыслить работу даже самого простого радиотехнического устройства.

ИЗ ГЛУБИНЫ ВЕКОВ

Открытие электрических явлений легенда приписывает мудрейшему из мыслителей древней Греции Фалесу, жившему более двух тысячелетий назад.

...Еще в те времена в окрестностях древнегреческого города Магнезии люди находили на берегу моря камешки, притягивавшие легкие железные предметы. По имени этого города их называли «магнитами» (вот откуда пришло к нам слово магнит!). Фалес же обратил внимание и на не менее таинственные камешки, к тому же красивые и легкие. Эти привлекательные дары моря не притягивали, как магниты, железные предметы, но обладали не менее любопытным свойством: если их натирали шерстяной тряпочкой, то к ним прилипали пушинки, легкие кусочки сухого дерева, травы. Такие камешки, выбрасываемые приливами и волнами морей, мы сейчас называем янтарем. Древние же греки янтарь называли электроном. Отсюда и образовалось впоследствии слово электричество.

Это интересное явление природы, называемое электризацией тел трением, ты можешь наблюдать, не отправляясь к морю на поиски кусочков окаменевшей смолы ископаемых растений — янтаря. Натри пластмассовую расческу шерстяной тряпочкой и поднеси ее к мелким кусочкам тонкой бумаги (рис. 1, *а*): они мгновенно прилипнут к наэлектризованной расческе, а через некоторое время опадут на стол. Поднеси наэлектризованную расческу к волосам. Волосы тоже притянутся к расческе, что иногда может сопровождаться даже появлением искр — сверхминиатюрных молний.

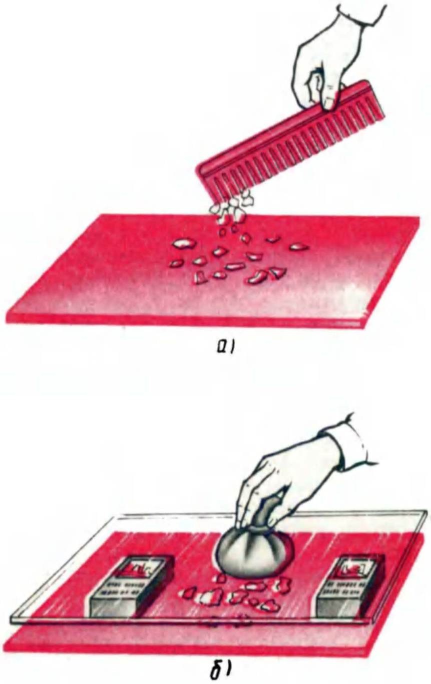


Рис. 1. Наэлектризованная расческа притягивает пушинки, волоски, кусочки бумаги (*а*); под электризующимся стеклом кусочки бумаги «танцуют» (*б*)

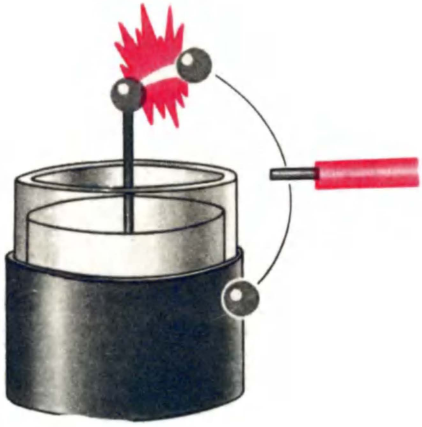


Рис. 2. Лейденская банка — конденсатор

Проведи еще один опыт. На два сухих спичечных коробка положи насухо протертое стекло, а под него — те же кусочки тонкой бумаги. Сложи шерстяную тряпочку тампоном и натирай им стекло сверху (рис. 1, *б*). Ты увидишь, как запрыгают, запляшут под стеклом кусочки бумаги! Хотя и выглядит это как фокус, ничего загадочного здесь нет: натертые шерстяной тряпочкой расческа или стекло приобретают электрический заряд, благодаря которому они, подобно магниту, притягивают легкие кусочки бумаги.

Но ни древние греки, ни другие мыслители и философы на протяжении многих столетий не могли объяснить это свойство янтаря и стекла. В XVII в. немецкому ученому Отто Герике удалось создать электрическую машину, извлекавшую из натираемого шара, отлитого из серы, значительные искры, уколы которых могли быть даже болезненными. Однако разгадка тайн «электрической жидкости», как в то время называли это электрическое явление, не была тогда найдена.

В середине XVII в. в Голландии, в Лейденском университете, ученые нашли способ накопления электрических зарядов. Таким накопителем электричества была «лейденская банка» (по названию университета) — стеклянный сосуд, стенки которого снаружи и изнутри оклеены свинцовой фольгой (рис. 2). Лейденская банка, подключенная обкладками к электрической машине, могла накапливать и долго сохранять значительное количество электричества. Если ее обкладки соединяли отрезком толстой проволоки, то в месте замыкания проскакивала сильная искра и накопленный электрический заряд мгновенно исчезал. Если же обкладки заряженного прибора соединяли тонкой про-

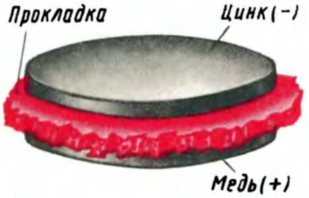


Рис. 3. Элемент Вольта

волокой, она быстро нагревалась, вспыхивала и плавилась, т. е. перегорала, как мы часто говорим сейчас. Вывод мог быть один: по проволоке течет электрический ток, источником которого является электрически заряженная лейденская банка.

Сейчас подобные приборы мы называем электрическими конденсаторами (слово «конденсатор» означает «сгуститель»), а их не соединяющиеся между собой полоски фольги — обкладками конденсаторов.

Более совершенный, а главное, почти непрерывный источник электрического тока изобрел в конце XVII в. итальянский физик Алессандро Вольта. Между небольшими дисками из меди и цинка он помещал суконку, смоченную раствором кислоты (рис. 3). Пока прокладка влажная, между дисками и раствором происходит химическая реакция, создающая в проводнике, соединяющем диски, слабый электрический ток. Соединяя пары дисков в батарею, можно было получать уже значительный электрический ток. Такие батареи называли «вольтовыми столбами». Они-то и положили начало электротехнике.

Подобный источник тока мы называем гальваническим элементом — по имени Луиджи Гальвани, открывшего явление электрического тока, а соединенные параллельно или последовательно элементы — батареями гальванических элементов.

Практика показала, что существуют два вида электричества. Один из них, соответствующий электрическому заряду медной пластины, стали условно считать положительным, а второй, соответствующий заряду цинковой пластины,— отрицательным. В соответствии с этим первую пластину — полюс источника тока — стали называть положительным и обозначать знаком «+», а второй полюс — отрицательным и обозначать знаком «−». Условно стали также считать, что ток течет от положительного к отрицательному полюсу элемента или батареи.

Здесь я вынужден забежать немного вперед, чтобы ответить на вопрос, который, вероятно, у тебя уже возник: что такое электрический ток?

ЗАГЛЯНЕМ В МИКРОМИР

Электрический ток — это упорядоченное движение электрических зарядов. Чтобы разобраться в этом явлении природы, нам придется мысленно проникнуть в микромир вещества.

Веществом, или материей, называют все то, из чего состоят все существующие в природе предметы, тела: твердые, жидкие, газообразные. Все они образуются из атомов. Атомы чрезвычайно малы. Единица длины миллиметр совершенно непригодна для их измерения, так как она слишком велика. Не годится для таких измерений ни тысячная доля миллиметра — микрон, ни миллимикрон, который в тысячу раз меньше микрона. Подходит только десятая доля миллимикрона — наномикрон. Диаметр атомов различных веществ составляет от 0,1 до 0,4 нм (10^{-10} м = 0,1 нм). Другими словами, на участке длиной 1 см могут свободно разместиться от 25 до 100 млн. атомов.

Некогда предполагали, что атом — мельчайшая неделимая частица вещества. Слово «атом» и означает «неделимый». Но впоследствии ученые узнали, что и атом состоит из более мелких частиц. В центре атома любого вещества находится ядро, размеры которого примерно в 100 тыс. раз меньше размеров самого атома. А потом оказалось, что и ядро состоит из еще более мелких частиц, которые были названы протонами и нейтронами. В настоящее время ученые успешно разрушают, или, как говорят, расщепляют ядра атомов и получают огромную скрытую в них энергию — атомную. На атомных электростанциях эта энергия превращается в энергию электрического тока. Атомная энергия приводит в движение морские корабли, например ледоколы, подводные лодки.

Атом можно представить как мир микроскопических частиц, вращающихся вокруг своей оси и одна вокруг другой. А в центре этого микромира находится плотное, массивное ядро, вокруг которого обращаются во много раз еще более мелкие, чем ядро, частицы — электроны. Электроны образуют оболочку атома.

Каковы размеры электронов? Чрезвычайно малы. Если булавочную головку мысленно увеличить до размера нашей планеты Земля, то при этом каждый атом металла, из которого сделана булавка, увеличился бы до размера шара диаметром 1 м. И вот в центре такого фантастически увеличенного атома мы увидели бы его ядро — шарик размером в типографскую точку, вокруг которого вращались бы еле заметные пылинки — электроны.

Если ты захочешь узнать размеры электрона, раздели число 3 на единицу с 12 нулями. Получишь примерный диаметр электрона, выраженный в миллиметрах.

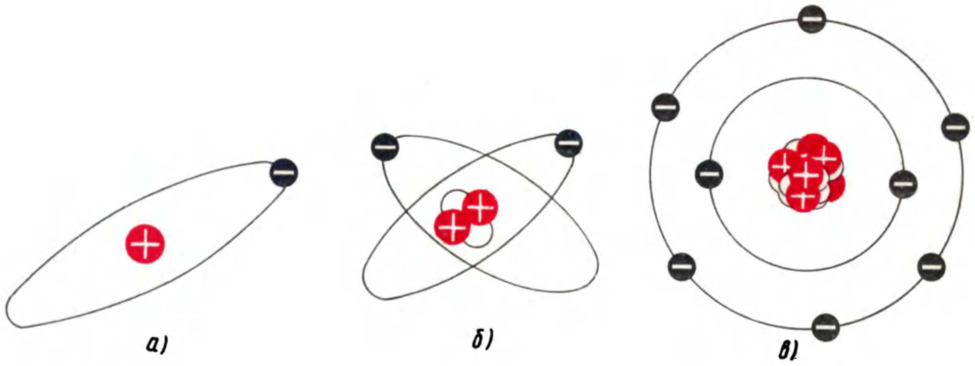


Рис. 4. Схематическое устройство атома водорода (*а*), атомов гелия (*б*) и кислорода (*в*). Орбиты электронов изображены в одной плоскости

Электроны часто называют «частицами». Однако это не следует понимать в том смысле, что электрон представляет собой нечто вроде твердого комочка или шарика. По современным представлениям электроны можно уподобить облачкам, окружающим атомное ядро и обращающимися вокруг него. Электрон как бы «размазан» по оболочке атома. Однако для наглядности объяснения физических явлений природы электроны часто условно, как бы символически, изображают на рисунках в виде шариков, вращающихся вокруг атомного ядра подобно искусственным спутникам вокруг Земли. Этого будем придерживаться и мы.

В атоме каждого химического элемента число электронов строго определенно, но неодинаково для разных химических элементов. Самую простую конструкцию имеет атом газа водорода — его оболочка содержит всего один электрон (рис. 4, *а*). Оболочка атома гелия (этим газом наполняют трубки для светящихся красным светом вывесок, рекламных надписей) имеет два электрона (рис. 4, *б*). Атомы других химических элементов содержат больше электронов, причем их электронные оболочки многослойны. Атом кислорода, например, имеет восемь электронов, расположенных в двух слоях: в первом — внутреннем, ближнем к ядру, слое движутся два электрона, а во втором — внешнем, шесть (рис. 4, *в*). У каждого атома железа по 26 электронов, а у каждого атома меди по 29. У атомов железа и меди электронные оболочки четырехслойные: в первом слое — два электрона, во втором и третьем по восемь, а все остальные электроны находятся во внешнем, четвертом, слое.

Электроны, находящиеся во внешнем слое оболочки атома, называют ***валентными***. Запомни: валентные. Мы не раз будем вспоминать о валентных электронах, особенно когда пойдет разговор о полупроводниковых приборах.

О числе электронов в атомах различных веществ ты можешь узнать из таблицы химических элементов, составленной великим русским ученым Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Эта таблица имеется в химическом и физическом кабинетах твоей школы. Пока же запомни: число протонов в ядре атома всегда равно тому числу электронов, которое должно быть в электронной оболочке атома данного вещества. Каждый протон атомного ядра несет положительный (+) электрический заряд, а каждый электрон атомной оболочки — отрицательный (−) электрический заряд, равный заряду протона. Нейтроны, входящие в состав атомного ядра, не несут никакого заряда.

Ты, конечно, не раз забавлялся подковообразным магнитом. Ведь только существованием невидимого магнитного поля, пронизывающего пространство вокруг его полюсов, можно объяснить явление притягивания им железных предметов. Благодаря этому полю можно, например, заставить гвоздь держаться на столе вертикально, не касаясь его магнитом. А если попробовать соединить два магнита одноименными полюсами? Они будут отталкиваться! А разноименными? В этом случае полюсы магнитов притянутся и прилипнут друг к другу. Подобным образом ведут себя и электрические заряды: одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются.

Если электроны имеют заряд, противоположный по знаку заряду протонов, значит, между ними в атоме все время действуют электрические силы, удерживающие электроны возле своего ядра.

«А почему электроны не падают на ядро?» — спросишь ты. Потому, что они обращаются вокруг ядра с огромной скоростью. Не падает же на Землю Луна, хотя Земля и притягивает своего вечного спутника.

Поскольку в атоме суммарный отрицательный заряд всех электронов равен суммарному положительному заряду всех протонов, атом внешне не проявляет никаких электрических свойств. Говорят, что такой атом электрически нейтрален.

Валентные электроны, находящиеся на наибольшем удалении от ядра, удерживаются ядром слабее, чем более близкие к нему. При различных внешних воздействиях, например при нагревании, натирании или под влиянием света, валентные электроны некоторых веществ могут покидать свои атомы и даже пределы тела, в которые они входили. Такие электроны, покинувшие свои атомы, называют свободными.

А что же происходит с атомом, потерявшим один или несколько электронов? Его внутреннее электрическое равновесие нарушается. В нем начинает преобладать положительный заряд ядра и атом в целом становится положительным. Такой атом называют положительным ионом. В этом случае он, как и магнит, стремится притянуть к себе оказавшиеся поблизости свободные электроны или «отобрать» их у соседних атомов, чтобы восполнить потерю и снова стать электрически нейтральным. А если в электронной оболочке атома появится лишний электрон? Такой атом будет проявлять свойства отрицательного заряда. Это будет уже отрицательный ион. При первой же возможности он вытолкнет лишний электрон, чтобы вновь стать электрически нейтральным.

«Родственные» атомы и атомы разных химических элементов, соединяясь, образуют молекулы. Водород, например, обычно состоит из молекул, в каждую из которых входит по два водородных атома. При этом электронные оболочки обоих атомов сливаются (рис. 5). В такой молекуле оба электрона движутся вокруг двух атомных ядер. Здесь уже нельзя различить, какой из электронов какому из двух атомов принадлежит. Если же два атома водорода соединить с одним атомом кислорода, то получится молекула воды. Все тела строятся на основе молекул. Бумага, например, на которой напечатана эта книга, «соткана» из молекул клетчатки, в которые входят атомы водорода, кислорода и углерода.

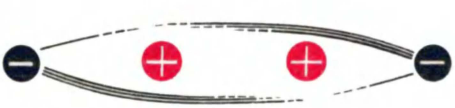


Рис. 5. При соединении двух атомов водорода в молекулу их электронные оболочки сливаются

Молекула, как и атом, электрически нейтральна, если общее число электронов в ней равно общему числу протонов, находящихся в ее атомных ядрах. Если число электронов в молекуле будет меньше числа протонов, то молекула будет нести положительный заряд, а если число электронов больше числа протонов — отрицательный заряд. Если перенести каким-либо способом часть электронов из атомов или молекул одного тела в другое, то и вокруг этих тел, и в пространстве между ними возникнут электрические силы, или, как говорят, создастся электрическое поле.

Вот тебе и разгадка «секрета» расчески, натертой шерстяной тряпочкой или шелком. При трении о шерсть расческа отдает ей часть электрических зарядов, в результате чего сама электризуется. Вокруг наэлектризованной расчески возникает электрическое поле, вследствие чего она и приобретает способность притягивать легкие предметы. Электрическое поле действует и между двумя частями одного и того же тела, например в куске металла, если в одной части его имеется избыток электронов, а в другой — недостаток. Условия для перемещения избыточных электронов возникают в той части тела, где их недостает.

Электрический заряд одного электрона ничтожно мал. Но если электронов много и если можно заставить их двигаться внутри тела в одну сторону, образуя поток отрицательных зарядов, получится то, что мы называем электрическим током.

О ПРОВОДНИКАХ, НЕПРОВОДНИКАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Однако не в каждом теле есть условия для прохождения электрического тока. Дело в том, что атомы и молекулы различных веществ обладают неодинаковыми свойствами. В металлах, например, электроны легко покидают оболочки и беспорядочно, хаотично движутся между атомами. В металлах особенно много свободных электронов. По существу, металл состоит из положительных ионов, расположенных в определенном порядке, пространство между которыми заполнено свободными электронами (рис. 6). В металле невозможно различить, какой электрон к какому из атомов относится, они сливаются в единое электронное «облако». Огромное количество свободных электронов в металлах создает в них наиболее благоприятные условия для электрического тока. Нужно

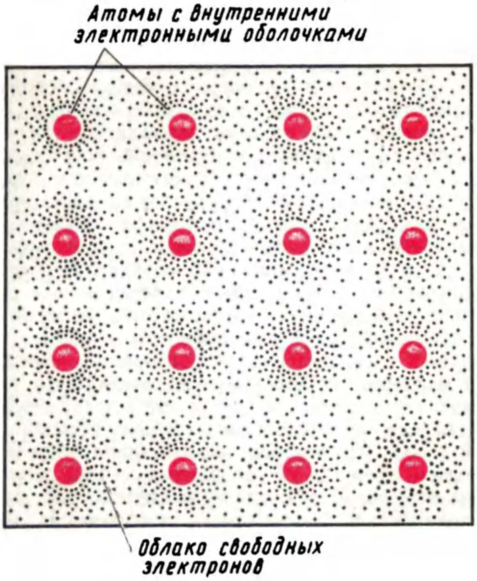

Атомы с внутренними электронными оболочками
Облако свободных электронов

Рис. 6. В металле пространство между атомами заполнено свободными электронами

только хаотическое движение электронов упорядочить, заставить их двигаться в одном направлении.

В некоторых телах и веществах почти нет свободных электронов, так как они прочно удерживаются ядрами. У молекул и атомов таких тел трудно «отобрать» или «навязать» им лишние электроны. В этих телах нельзя получить электрический ток. Тела и вещества, в которых можно создавать электрический ток, называют проводниками. Те же тела и вещества, в которых его создать нельзя, называют непроводниками тока, или диэлектриками. К проводникам, кроме металлов, относятся также уголь, растворы солей, кислоты, щелочи, живые организмы и многие другие тела и вещества. Причем в растворах солей электрический ток создается не только электронами, но и положительными ионами. Диэлектриками являются воздух, стекло, парафин, слюда, лаки, фарфор, резина, пластмассы, различные смолы, маслянистые жидкости, сухое дерево, сухая ткань, бумага и другие вещества. Фарфоровыми, например, делают изоляторы для электропроводки, лаки используют для покрытия проводов, чтобы изолировать провода друг от друга и от других предметов.

Но есть еще большая группа веществ, называемых полупроводниками. К полупроводникам, в частности, относятся германий и кремний. По электропроводности они занимают среднее место между проводниками и непроводниками. Считающиеся когда-то непригодными для практических целей, сейчас они стали основным материалом для производства современных полупроводниковых приборов, например транзисторов, с которыми будет связана большая часть твоего творчества.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Как заставить двигаться упорядоченно, в одном направлении, обилие свободных электронов, скажем, в нити накала электрической лампочки? Нужно создать в проводнике электрическое поле, подключив, например, проводник к гальваническому элементу или к батарее гальванических элементов.

Устройство простейшего гальванического элемента, являющегося химическим источником тока, показано на рис. 7. Элемент состоит из цинковой и медной пластинок, называемых электродами, которые помещены в электролит — раствор соли или кислоты, например серной. В результате химической реакции, происходящей между электродами и электролитом, на цинковом электроде образуется избыток электронов, и он приобретает отрицательный электрический заряд, а на медном наоборот — недостаток электронов, и медный электрод приобретает положительный заряд. При этом между разноименными электрическими зарядами такого источника тока возникает электрическое поле, действует электродвижущая сила (сокращенно ЭДС) или напряжение. О разнице между ЭДС и напряжением я расскажу

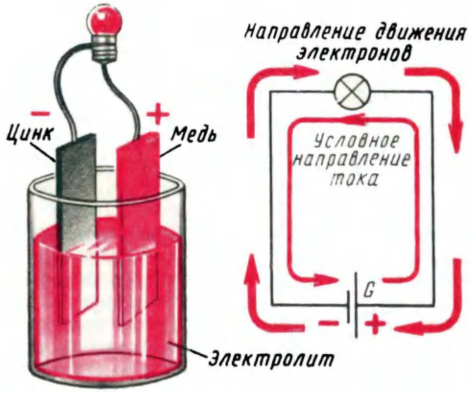


Рис. 7. Устройство простейшего гальванического элемента и схематическое изображение замкнутой электрической цепи

тебе позже, во время экскурсии в электротехнику.

Ты уже знаешь, что полюсы элемента или батареи обозначают знаками «плюс» и «минус». Их ты видел, например, возле жестяных выводных пластинок батареи, предназначенной для питания лампы накаливания карманного электрического фонаря. Между прочим, эта батарея также состоит из гальванических элементов, только не жидкостных, как элемент, показанный на рис. 7, а сухих. Там их три. Несколько элементов, соединенных между собой в единый источник тока, называют батареей.

Запомни: на электрических схемах отрицательный полюс элемента или батареи принято обозначать короткой линией, положительный — удлиненной линией.

Как только проводник окажется подключенным к полюсам элемента или батареи, в нем возникнет электрическое поле, под действием которого электроны, как по мостику, перекинутому через овраг, будут двигаться туда, где их недостаток,— от отрицательного полюса через проводник к положительному полюсу источника электрической энергии. Это и есть упорядоченное движение электронов в проводнике — электрический ток. Ток течет через проводник потому, что в получившейся цепи (положительный полюс элемента, проводники, отрицательный полюс элемента, электролит) действует электродвижущая сила. Такую простейшую электрическую цепь можно подразделить на два основных участка: внешний и внутренний. К внешнему участку цепи относится все, что подключается к полюсам источника тока (на рис. 7 — лампа накаливания и соединительные проводники), а к внутреннему — та часть цепи, которая заключена внутри самого источника тока.

Запомни: замкнутая электрическая цепь — обязательное условие для существования в ней тока. В разомкнутой цепи ток не течет.

Разноименные заряды можно сообщить двум изолированным телам, например шарикам, подвешенным на шелковых нитях. Шарики будут притягиваться, но тока между ними не будет, так как их разделяет диэлектрик — воздух.

Установлено, что электроны в проводнике движутся от отрицательного полюса (где избыток их) к положительному (где недостаток в них), однако и сейчас, как в прошлом веке, принято считать, что ток течет от плюса к минусу, т. е. в направлении, обратном движению электронов. Ты можешь спросить: почему бы сейчас не нарушить эту традицию? Дело в том, что это потребовало бы переработки всех учебников, всей технической литературы, имеющей прямое или косвенное отношение к электротехнике и радиотехнике. Условное направление тока, кроме того, положено учеными в основу ряда правил, связанных с определением многих электрических явлений. В то же время такая условность никаких особых неудобств не создает, если твердо помнить, что направление тока в проводниках противоположно направлению движения электронов. В тех же случаях, когда ток создается положительными электрическими зарядами, например в электролитах химических источников постоянного тока, ток «дырок» в полупроводниках (об этом разговор пойдет в пятой беседе), таких противоречий вообще нет, потому что направление движения положительных зарядов совпадает с направлением тока.

Пока элемент или батарея действуют, во внешнем участке электрической цепи ток течет в одном и том же направлении. Такой ток называют *постоянным*. Его можно изобразить графически, как показано на рис. 8. Точка пересечения горизонтальной и вертикальной осей, обозначенная нулем, является исходной для графического изображения времени t и количественного значения тока I в электрической цепи.

О чем может рассказать этот график? Сначала (отрезок времени 0а) тока в цепи вообще нет (ток равен нулю), так как к источнику тока не подключен внешний участок цепи. Ток появился, когда цепь замкнули (точка а). Он мгновенно возрос до некоторого значения и не изменялся до тех пор, пока цепь была замкнута. Когда цепь разомкнули, ток мгновенно прекратился (точка б). Если электрическую цепь снова замкнуть, в ней опять появится ток. Так примерно выглядит график импульса постоянного тока, текущего через лампу накаливания карманного электрического фонаря, когда его включают на короткие промежутки времени.

Через соединительные проводники и нить лампы накаливания, изображенные на рис. 7, электроны движутся слева направо — от минуса к плюсу. Но если полюсы элемента поменять местами, тогда электроны в том же внешнем участке цепи потекут справа налево, так как теперь минус окажется на правом конце участка

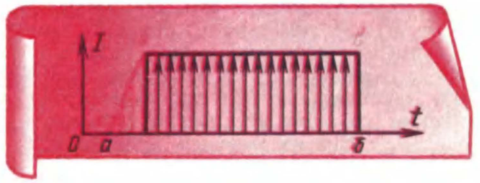


Рис. 8. Графическое изображение постоянного тока

цепи, а плюс — на левом. Изменится только направление движения электронов, но ток и в этом случае будет постоянным.

А если полюсы источника тока менять местами очень быстро и к тому же ритмично? В этом случае электроны во внешнем участке цепи тоже будут попеременно изменять направление своего движения. Сначала они потекут в одном направлении, затем, когда полюсы поменяют местами,— в другом, обратном предыдущему, потом вновь в прямом, опять в обратном и т. д. Во внешней цепи будет течь уже не постоянный, а как бы переменный ток.

Запомни: в проводах электроосветительной сети течет переменный ток, а не постоянный, как в цепи электрического карманного фонаря. Его вырабатывают машины, называемые генераторами переменного тока. Знаки электрических зарядов на полюсах генератора непрерывно меняются, но не скачком, как в нашем примере, а плавно. Заряд того полюса генератора, который в некоторый момент времени был положительным, начинает убывать и через долю секунд становится отрицательным; отрицательный заряд сначала возрастает, потом начинает убывать, пока снова не окажется положительным и т. д. Одновременно меняется знак заряда и другого полюса. При этом напряжение и значение тока в электрической цепи также периодически изменяются.

Графически переменный ток изображают волнистой линией — синусоидой, показанной на рис. 9. Здесь вертикальная ось со стрелкой, направленной вверх, соответствует одному направлению тока, названному мною «туда», а вниз — другому направлению тока, обратному первому — «обратно».

О чем может рассказать такой график? Ток в цепи появляется в момент, обозначенный на графике точкой а. Он плавно увеличивается и течет в одном направлении — «туда», достигает наибольшего значения (точка б) и также плавно убывает до нуля (точка в). Исчезнув на мгновение, ток вновь появляется, плавно возрастает и протекает в цепи, но уже в противоположном направлении — «обратно». Достигнув наибольшего значения (точка г), он снова уменьшается до нуля (точка д). И далее ток, также последовательно возрастая и уменьшаясь, все время меняет свои направление и значение.

При переменном токе электроны в проводнике как бы колеблются из стороны в сторону. Поэтому переменный ток называют также электрическими колебаниями. Одним полным, или законченным, колебанием тока принято считать упорядоченное движение электронов в проводнике, соответствующее участку графика от а до д или от в до ж (рис. 9). Время, в течение которого происходит одно полное колебание, называют *периодом,* время половины колебания — *полупериодом,* а наибольшее значение тока во время каждого полупериода — *амплитудой.*

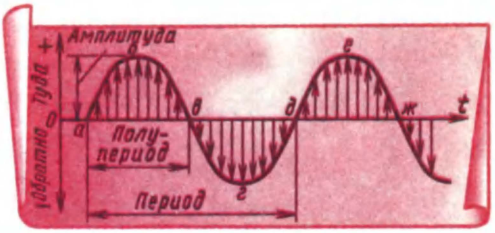


Рис. 9. Графическое изображение переменного тока

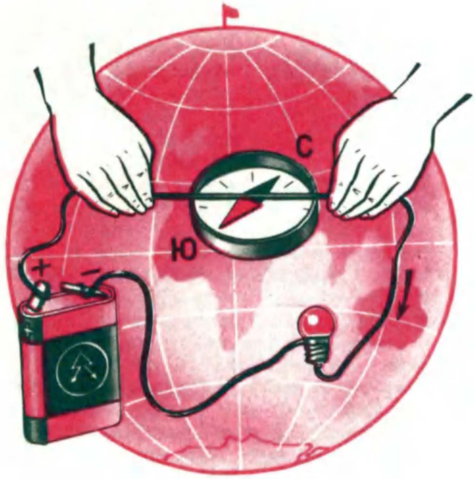
Переменный ток выгодно отличается от постоянного тем, что он легко поддается преобразованию. Так, например, с помощью специального устройства — трансформатора можно повысить напряжение переменного тока или, наоборот, понизить его. Переменный ток, кроме того, можно выпрямить — преобразовать в постоянный ток. Эти свойства переменного тока ты будешь широко использовать в своей радиолюбительской практике.

Все то, о чем я рассказал тебе сейчас, знает каждый старшеклассник и, разумеется, каждый радиолюбитель. Ты пользуешься благами электричества, иногда даже расточительно, не задумываясь над тем, что ученые всего-навсего каких-нибудь лет 100 назад только-только нащупали пути практического использования этого щедрого дара природы.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ: КАКАЯ МЕЖДУ НИМИ СВЯЗЬ?

Непосредственную связь между электричеством и магнетизмом открыл в 1819 г. датский профессор физики Ганс Эрстед. Проводя опыты, ученый обнаружил, что всякий раз, когда он включал ток, магнитная стрелка, находящаяся поблизости от проводника с током, стремилась повернуться перпендикулярно проводнику, а когда выключал, магнитная стрелка возвращалась в исходное положение. Ученый сделал вывод: вокруг проводника с током возникает магнитное поле, которое воздействует на магнитную стрелку.

Ты можешь в этом убедиться, если сам проведешь аналогичный опыт. Для этого потребуются: батарея гальванических элементов, например 3336, и миниатюрная лампа



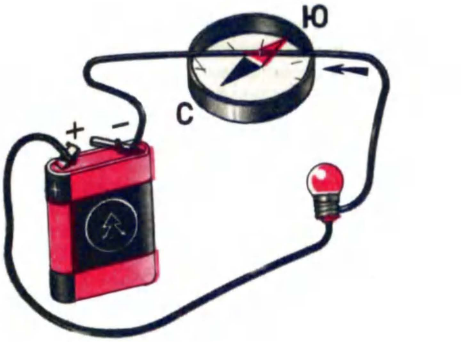


Рис. 10. При изменении направления тока в проводнике меняется и направление линий магнитного поля

накаливания, предназначаемые для карманного электрического фонаря, медный провод толщиной 0,2...0,3 мм в эмалевой, хлопчатобумажной или шелковой изоляции и компас. С помощью отрезков провода, удалив с их концов изоляцию, подключи к батарее лампу накаливания. Лампа горит, потому что образовалась электрическая цепь. Батарея в данном случае является источником питания этой цепи. Поднеси один из соединительных проводников поближе к компасу (рис. 10) и ты увидишь, как его магнитная стрелка сразу же станет поперек проводника. Она укажет направление круговых магнитных силовых линий, рожденных током. Наиболее сильное магнитное поле тока будет возле самóго проводника. По мере удаления от проводника магнитное поле, рассеиваясь, ослабевает.

А если изменить направление тока в проводнике, поменяв местами подключение его к полюсам батареи? Изменится и направление магнитных силовых линий — магнитная стрелка повернется в другую сторону. Значит, направление силовых линий магнитного поля, возбуждаемого током, зависит от направления тока в проводнике.

Какова в этих опытах роль лампы накаливания? Она служит как бы индикатором наличия тока в цепи и кроме того, ограничивает ток в цепи. Если к батарее подключить только проводник, магнитное поле тока станет сильнее, но батарея быстро разрядится.

Если в проводнике течет постоянный ток неизменного значения, его магнитное поле также не будет изменяться. Но если ток уменьшится, то слабее станет и его магнитное поле. Увеличится ток — усилится его магнитное поле, исчезнет ток — магнитное поле пропадет. Словом, так и его магнитное поле неразрывно связаны и взаимно зависимы.

Магнитное поле тока легко усилить, если проводник с током свернуть в катушку. Силовые линии магнитного поля такой катушки можно сгустить, если внутрь ее поместить гвоздь или железный стержень. Такая катушка с сердечником станет электромагнитом, способным притягивать сравнительно тяжелые железные предметы (рис. 11). Это свойство тока используется во множестве электрических приборов.

А если магнитную стрелку поднести к проводу с переменным током? Она останется неподвижной, даже если провод свернуть в катушку. Значит ли это, что вокруг проводника с переменным током нет магнитного поля?

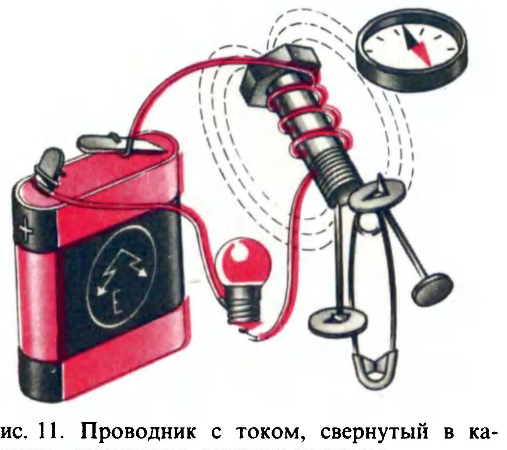


Рис. 11. Проводник с током, свернутый в катушку, становится электромагнитом

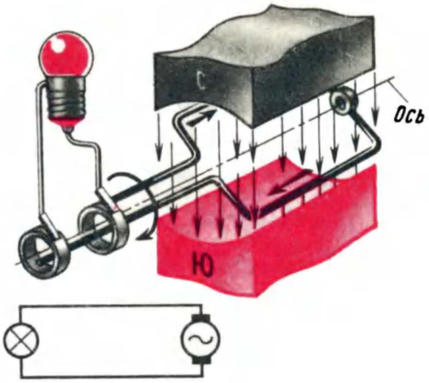


Рис. 13. Схема генератора переменного тока

Магнитное поле есть, но оно тоже переменное. Магнитная же стрелка не будет отклоняться только вследствие своей «неповоротливости» — инерционности, она не будет успевать следовать за быстрыми изменениями магнитного поля.

Первый электромагнит, основные черты которого сохранились во многих современных электрических приборах, например в электромагнитных реле, излучателях головных телефонов, изобрел английский ученый Стерджен в 1821 г. А спустя два десятилетия после этого события французский физик Андре Ампер сделал новое, исключительно важное по тому времени открытие. Он опытным путем установил, что два параллельно расположенных проводника, по которым течет ток, способны совершать механическую работу: если ток в обоих проводниках течет в одном направлении, то они притягиваются, а если в противоположных, отталкиваются.

Догадываешься, почему так происходит? В первом случае, когда направление тока в обоих проводниках одинаково, их магнитные поля, также имеющие одинаковое направление, как бы стягиваются в единое поле, увлекая за собой проводники. Во втором случае магнитные поля вокруг проводников, имеющие теперь противоположные направления, отталкиваются и тем самым раздвигают проводники.

В первой половине прошлого столетия ценнейший вклад в науку внес английский физик-самоучка Майкл Фарадей. Изучая связь между электрическим током и магнетизмом, он открыл явление электромагнитной индукции. Суть его заключается в следующем. Если внутрь катушки из изолированной проволоки быстро ввести магнит, стрелка электроизмерительного прибора, подключенного к концам катушки, на мгновение отклонится от нулевой отметки на шкале прибора (рис. 12, *а*). При таком же быстром введении магнита внутрь катушки, но уже в обратном направлении, стрелка прибора также быстро отклонится в противоположную сторону (рис. 12, *б*) и вернется в исходное положение. Вывод может быть один: магнитное поле пересекает провод и возбуждает (индуцирует) в нем движение свободных электронов — электрический ток. Впрочем, можно поступить иначе: перемещать не магнит, а катушку вдоль неподвижного магнита. Результат будет такой же. Магнит можно заменить катушкой, в которой течет постоянный ток. Магнитное поле этой катушки, вызванное током, при пересечении витков второй катушки также будет возбуждать в ней электродвижущую силу, создавая в ее цепи электрический ток.

Явление электромагнитной индукции лежит в основе действия генератора переменного тока, представляющего собой катушку из провода (ротор), вращающуюся между полюсами сильного магнита или электромагнита (на рис. 13 катушка показана в виде одного витка провода). Вращаясь, катушка пересекает силовые

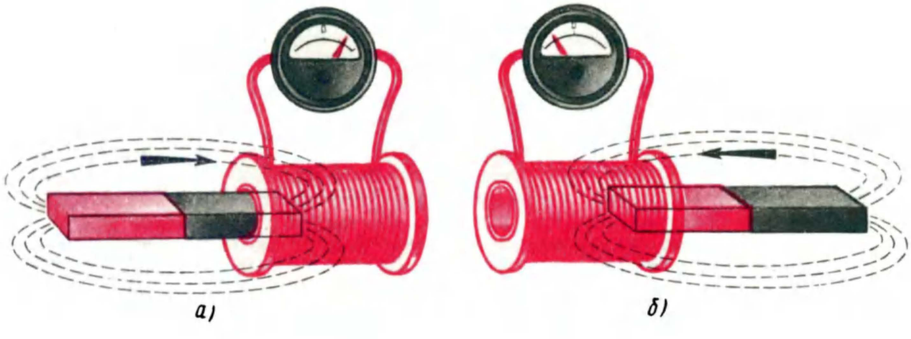


Рис. 12. Энергия магнитного поля создает движение электронов — электрический ток

линии магнитного поля, и в ней индуцируется (вырабатывается) электрический ток.

В 1837 г. русский академик Б. С. Якоби открыл явление, обратное по действию генератора тока. Через катушку, помещенную в магнитном поле, ученый пропускал ток, и катушка начинала вращаться. Это был первый в мире электромагнитный двигатель с вращающимся ротором.

Фарадей, открывший закон электромагнитной индукции, опытным путем обнаружил еще очень важное явление — возможность передавать переменный ток из катушки в катушку на расстояние без какой-либо прямой электрической связи между ними. Суть этого явления заключается в том, что переменный или прерывающийся (пульсирующий) ток, текущий в одной из катушек, преобразуется в переменное магнитное поле, которое пересекает витки второй катушки и тем самым возбуждает в ней переменную ЭДС. На этой основе создан замечательный прибор — трансформатор, играющий очень важную роль в электро- и радиотехнике.

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК РОЖДАЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Опыты Майкла Фарадея и его соотечественника и последователя Кларка Максвелла привели ученых к выводу, что переменное магнитное поле, рождаемое непрерывно изменяющимся током, создает в окружающем пространстве электрическое поле, которое, в свою очередь, возбуждает магнитное поле, магнитное поле — электрическое и т. д. Взаимосвязанные, создаваемые друг другом, магнитное и электрическое поля образуют единое переменное электромагнитное поле, которое непрерывно, как бы отделяясь и удаляясь от места возбуждения его, распространяется во всем окружающем пространстве со скоростью света, равной 300 000 км/с.

Явление возбуждения переменным током электромагнитных полей принято называть излучением электромагнитных колебаний, или излучением электромагнитных волн. Встречая на своем пути проводники, магнитные составляющие электромагнитных колебаний возбуждают в этих проводниках переменное электрическое поле, создающее в них такой же переменный ток, как ток, возбудивший электромагнитные волны, только несравненно слабее. На этом замечательном явлении и основана техника радиопередачи и радиоприема.

Равенство скорости распространения электромагнитных волн, создаваемых переменным током, и скорости света не случайно, потому что световые лучи, как между прочим, и тепловые, по своей природе тоже электромагнитные колебания.

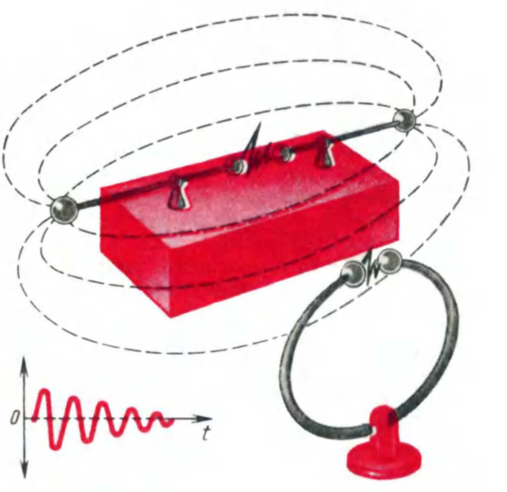


Рис. 14. Опытная установка Г. Герца для возбуждения и обнаружения электромагнитных волн и графическое изображение затухающих электромагнитных волн

Мысль о родстве световых и электрических явлений высказал русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов еще в середине XVIII в. Теорию электромагнитных волн развил Кларк Максвелл в первой половине прошлого столетия. Однако только в 1888 г. немецкому ученому Генриху Герцу удалось опытным путем доказать сам факт существования электромагнитных волн и найти возможность обнаружить их. В его опытной установке (рис. 14) излучателем электромагнитных волн был вибратор — два стержня с металлическими шарами на концах, источником напряжения питания вибратора — индукционная катушка Румкорфа (есть в каждом школьном физическом кабинете), а обнаружителем электромагнитной энергии — резонатор, представляющий собой незамкнутый виток провода, тоже с шарами на концах. Половинки вибратора заряжались до столь высокого напряжения, что между внутренними шарами через воздух проскакивала электрическая искра — искусственная молния в миниатюре. Происходил электрический разряд. В этот момент, длившийся малые доли секунды, вибратор излучал короткую серию быстропеременных затухающих, т. е. убывающих по амплитуде, электромагнитных волн. Пересекая провод резонатора, расположенного поблизости, электромагнитная энергия возбуждала в нем электрические колебания, о чем свидетельствовала очень слабая искра, появляющаяся между шарами резонатора. Еще разряд — и новая очередь затухающих электромагнитных колебаний возбуждала в резонаторе слабый переменный ток.

Так Генрих Герц нашел способ возбуждения электромагнитных волн и их обнаружения. Но он не представлял себе путей практического использования своего открытия.

РОЖДЕНИЕ РАДИО

Одним из первых, кто по достоинству оценил труды Герца и других ученых, занимавшихся исследованием электромагнитных колебаний, был преподаватель минного офицерского класса в Кронштадте Александр Степанович Попов. Читая лекции об электромагнитных явлениях и сопровождая их демонстрацией приборов собственного изготовления, А. С. Попов высказал смелую по тому времени мысль о возможности использования электромагнитных волн для передачи сигналов на расстояние без проводов.

Это было в последнем десятилетии прошлого века. В то время русский военный флот оснащался новой боевой техникой. Для преодоления морских просторов обновленному флоту нужны были более совершенные средства связи. И русский ученый искал их. После множества опытов и экспериментов А. С. Попов сконструировал принципиально новый прибор, реагировавший на электромагнитные волны. Источником электромагнитных волн был такой же вибратор, как в опытной установке Герца, но дополненный отрезками проволоки для лучшего излучения. Прием осуществлялся другим отрезком проволоки, соединенным с прибором, сконструированным А. С. Поповым. Как только вибратор начинал излучать электромагнитную энергию, приемный прибор отзывался на нее трелью звонка.

7 мая 1895 г. Александр Степанович Попов сделал доклад в Петербурге на заседании Русского физико-химического общества об изобретенном им способе приема электромагнитных волн без проводов. Тот исторический день конца девятнадцатого века, когда А. С. Попов заявил миру о новом направлении науки и техники, в нашей стране отмечается ежегодно как день рождения радиотехники — День радио.

Продолжая опыты, А. С. Попов обнаружил, что на сконструированный им прибор действуют и атмосферные электрические разряды — молнии. Это навело ученого на мысль об использовании приемника для сигнализации о приближающихся грозах, что и было проверено в одной из петербургских обсерваторий.

Александр Степанович Попов

Эскизный чертеж исторического приемника А. С. Попова ты видишь на рис. 15. Всмотрись в него внимательно, попробуй разобраться в нем и понять, как приемник действует. Не

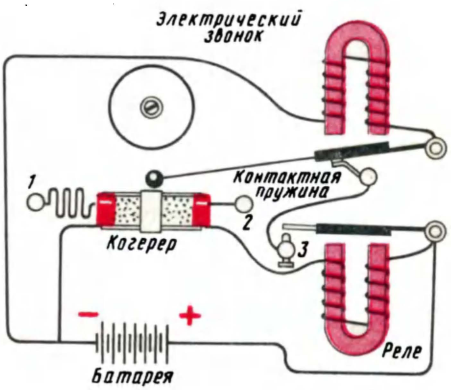


Рис. 15. Эскизный чертеж приемника А. С. Попова

считая батареи, в приемнике три прибора: когерер (изобретен в 1980 г. французским ученым Эдуардом Бранли), электрический звонок и электромагнитное реле — электромагнит, притягивающий якорь, если через его обмотку течет ток. Когерер представляет собой стеклянную трубку с мелкими металлическими опилками внутри. С помощью тонких металлических полосок он подвешен между опорами 1 и 2. Через обмотку реле одна контактная пластинка когерера соединена с положительным, а вторая — с отрицательным полюсами батареи. Это первая электрическая цепь приемника. Если якорь реле прижать к сердечнику, чтобы конец его коснулся винта 3, то образуется вторая электрическая цепь приемника — цепь электрического звонка.

Когерер в разных условиях обладает неодинаковой проводимостью тока. Находящиеся в нем металлические опилки в обычных условиях оказывают току большое сопротивление, т. е. плохо пропускают его. В это время ток в первой цепи, в которую включена обмотка реле, настолько мал, что якорь реле не притягивается к сердечнику. Но как только на когерер начнут действовать электромагнитные волны, сопротивление слоя опилок уменьшится, а ток первой цепи резко возрастет. В этот момент якорь реле притягивается к сердечнику и, коснувшись винта 3, замыкает цепь электрического звонка. Сразу же притягивается якорь электромагнита этой цепи, и молоточек ударяет по чашечке звонка. Но якорь электромагнита звонка отходит от контактной пружинки и разрывает вторую цепь. Теперь молоточек звонка, отпущенный электромагнитом, ударяет по когереру и встряхивает опилки, восстанавливая их большое сопротивление. Если электромагнитные волны продолжают воздействовать на когерер, молоточек автоматически ударяет то по чашечке звонка, то по когереру.

Когда А. С. Попов присоединял к когереру антенну, чувствительность приемника заметно повышалась. В этом случае приемник реагировал на разряды молнии, происходящие на расстоянии до 30 км. А так как приемник реагировал не только на искусственно создаваемые электромагнитные волны, но и на те, которые возникают в атмосфере перед грозой, А. С. Попов назвал его грозоотметчиком.

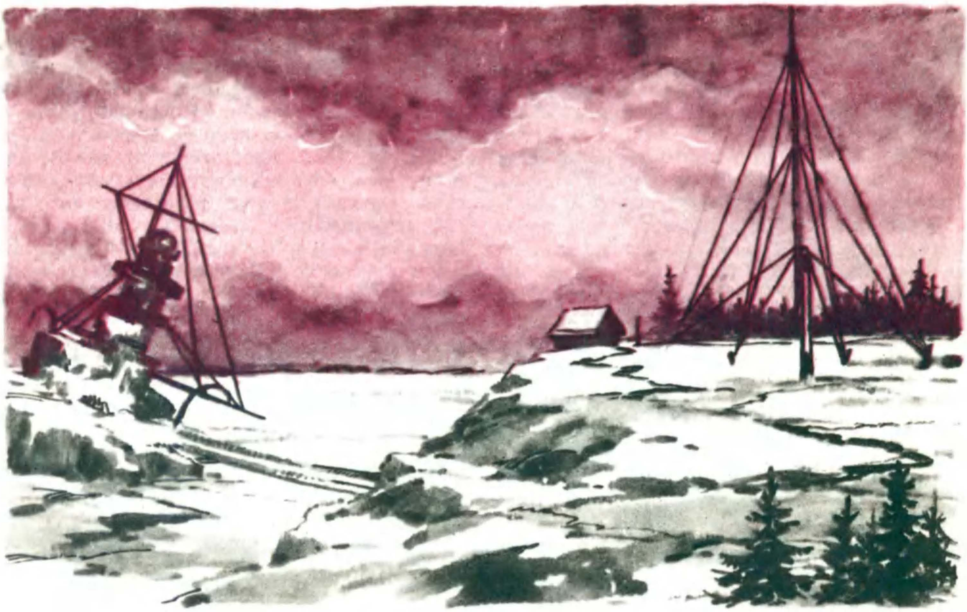
Спустя менее года после исторического заседания Русского физико-химического общества, 24 марта 1896 г. произошло новое крупное событие в истории радио. В этот день А. С. Попов докладывал ученым о возможности передачи и приема радиосигналов с записью на ленту телеграфного аппарата. Когда докладчик умолк, в аудитории послышался стук телеграфного аппарата, соединенного с приемником: Александр Степанович принимал радиограмму, передаваемую его ближайшим помощником Петром Николаевичем Рыбкиным.

Летом того же 1896 г. в печати появилось сообщение о том, что итальянский инженер Гульельмо Маркони патентует в Англии устройство для беспроволочного телеграфа. Однако только годом позже, когда стали известны подробности приборов Маркони, оказалось, что его передающее устройство аналогично передатчику Г. Герца, а приемник полностью тождествен приемнику А. С. Попова. Будучи предприимчивым человеком, Маркони сумел привлечь внимание к радиотелеграфии деловых кругов Великобритании и в 1897 г. организовал крупное Акционерное общество Маркони и К°. Большие материальные возможности и привлечение к работе многих видных ученых и инженеров позволили Маркони добиться в будущем больших успехов в практической реализации радиотелеграфии.

Продолжая совершенствовать свои приборы, А. С. Попов постепенно увеличивал дальность действия радиосвязи. Весной 1897 г. были переданы радиосигналы с корабля на берег на расстояние 640 м. А двумя годами позже, в 1899 г., после открытия возможности приема радиосигналов с помощью телефонных трубок на слух дальность радиосвязи достигла уже 35 км. Это был новый блистательный успех изобретателя радио, послуживший толчком к дальнейшему развитию радиотелеграфа в России.

Однако только непредвиденные обстоятельства помогли А. С. Попову доказать жизненную необходимость нового средства связи. Случилось это в ноябре 1889 г., когда броненосец «Генерал-адмирал Апраксин» во время снежного шторма сел на камни у пустынных берегов о. Гогланд в Финском заливе. От острова до ближайшего на материке г. Котки (Финляндия) около 44 км. Спасательные работы задерживались из-за трудности прокладки проводной линии связи между островом и материком. На помощь пришло радио. А. С. Попов и П. Н. Рыбкин для обеспечения надежной двусторонней связи установили на острове и материке приемно-передающие радиостанции. Линия радиосвязи действовала с февраля по апрель 1900 г. пока велись спасательные работы. За это время было передано и принято 440 радиограмм. Одна из них оказала людям неоценимую услугу.

Случилось это 6 февраля 1900 г. П. Н. Рыбкин, находившийся на о. Гогланд, принял от А. С. Попова из г. Котки радиограмму: «Командиру «Ермака». Около Лавенсаари оторвало льдину с рыбаками. Окажите помощь». Ледокол «Ермак» немедленно вышел на поиски в море и снял с льдины 27 рыбаков. Люди были спасены благодаря радио.



Радиостанция А. С. Попова на о. Гогланд

Работы А. С. Попова получили высокую оценку не только в Росии, но и за рубежом: его приемник в 1900 г. был удостоен Большой золотой медали на Всемирной выставке в Париже. В сентябре того же 1900 г. начала действовать Кронштадская радиомастерская, основанная Главным командиром Кронштадского порта вице-адиралом С. О. Макаровым и А. С. Поповым. Одна из радиостанций, состоящая из искрового передатчика и детекторного приемника, изготовленных в этой радиомастерской, в 1903 г. была установлена на крейсере «Аврора».

Велико значение трудов нашего соотечественника А. С. Попова. Он первым правильно оценил огромное практическое значение электромагнитных волн, сумел поставить их на службу человеку и тем самым положил начало новой эпохе в развитии мировой науки и техники — эпохе радиотехники.

В нашей стране Постановлением Правительства «Об ознаменовании 50-летия со дня изобретения радио А. С. Поповым» наш народ с 1945 г. отмечает 7 мая как День радио. Этим же постановлением учреждены золотая медаль имени А. С. Попова, присуждаемая ученым за выдающиеся научные работы и изобретения в области радио, нагрудный значок «Почетный радист», которым награждаются лица, способствующие своим трудом развитию радиотехники, радиолюбительства, организации радиовещания и телевидения. В Санкт-Петербурге есть музей А. С. Попова. Имя А. С. Попова носят Научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи, Научно-исследовательский институт радиовещательного приема и акустики.

Мы, советские люди, свято чтим память русского ученого А. С. Попова, давшего человечеству радио.

«ГАЗЕТА БЕЗ БУМАГИ И БЕЗ РАССТОЯНИЙ»

В 1918 г. в Нижнем Новгороде была создана радиолаборатория. Это, по существу, был первый советский радиотехнический университет, сыгравший большую роль в развитии радиофикации и радиовещания в нашей стране.

Нижегородской радиолабораторией руководил крупнейший русский изобретатель в области радио, создатель первых мощных радиовещательных станций Михаил Александрович Бонч-Бруевич. Под его руководством было налажено производство радиоламп, а осенью

1920 г. закончена постройка первой радиотелефонной станции, передававшей по радио живую человеческую речь на большие расстояния.

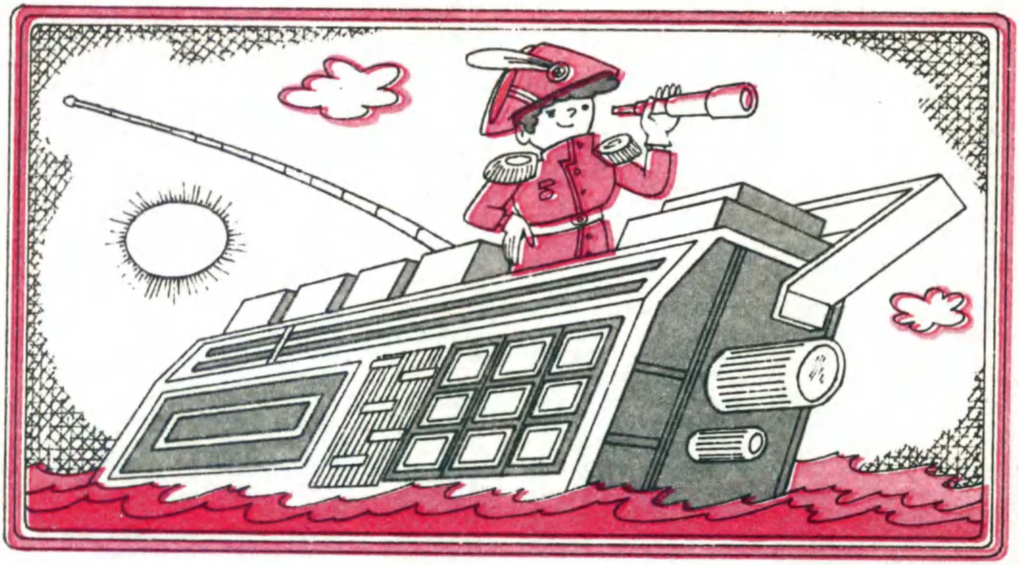
О ней говорили: «Газета без бумаг и без расстояний», которую Вы создаете, будет великим делом».

В марте 1920 г. было принято постановление Совета Труда и Обороны о постройке в Москве Центральной радиотелефонной станции с радиусом действия 2000 верст. Через два года, в 1922 г., вступает в строй первая радиовещательная станция, по тому времени самая мощная в мире. В 1924 г. Совет Народных Комиссаров СССР принимает постановление «О частных приемных станциях», положившее начало широкой радиофикации страны, развитию радиовещания и радиолюбительства. В том же 1924 г. многочисленные друзья радио, увлеченные радиотехникой, получили первый номер своего журнала «Радиолюбитель». С него-то, переименованного позже в «Радиофронт», а затем в журнал «Радио», по существу, и началась летопись советского радиолюбительства. Начался выпуск радиоприемников, деталей для самостоятельного изготовления радиоаппаратуры. Радиовещание все больше становится трибуной с миллионной аудиторией. Так зародилось и начало развиваться советское радиовещание, а вместе с ним и радиолюбительство.

* * *

Сейчас наша страна густо покрыта сетью радиовещательных станций и радиотрансляционных узлов. Радиоприемник или радиоточка стали предметами первой необходимости нашего быта. Средствами радиосвязи оснащены все виды воздушных, морских и речных кораблей, научные экспедиции, искусственные спутники Земли, космические корабли и автоматические межпланетные станции. Днем и ночью, в будни и в праздник, в любую погоду поддерживается радиосвязь между городами нашей огромной страны.

Но, юный друг, радиовещание и радиосвязь не единственные области современной радиотехники. Радиотехника сегодня — это телевидение и радиолокация, радионавигация, радиоастрономия и телемеханика, звукозапись и многие другие отрасли и разделы науки и техники. С некоторыми из них я намерен познакомить тебя в следующих беседах. Начну же с наиболее широкой области применения радиотехники — техники радиовещания.



БЕСЕДА ВТОРАЯ

О КОЛЕБАНИЯХ И ВОЛНАХ, ТЕХНИКЕ РАДИОПЕРЕДАЧИ И РАДИОПРИЕМА

Слово «радио» происходит от латинского radiare — *излучать или испускать лучи. Радиовещательная станция, например, подобно Солнцу излучает радиоволны во все стороны по радиусам. Лишь некоторые радиостанции специального назначения излучают радиоволны в каком-то одном направлении.*

Если бы ты пришел на территорию радиовещательной станции, то прежде всего увидел бы вертикальную ажурную металлическую мачту или провода, поднятые высоко над землей. Это — антенна. Рядом или неподалеку — здание, где находится передатчик, вырабатывающий электрические колебания высокой частоты, которые антенна преобразует в энергию радиоволн.

К передатчику от радиостудии, а она может находиться далеко от передатчика, идет подземный кабель — хорошо изолированные провода в прочной оболочке. В студии установлен микрофон. Не только голос диктора, разговор людей и звуки музыки, но и шепот, шорохи микрофон мгновенно превращает в электрические колебания звуковой частоты, которые по кабелю поступают к передатчику, чтобы «внедриться» в его высокочастотные колебания. Скольким еще преобразованиям подвергается переменный ток звуковой частоты, прежде чем приемник превратит его снова в звук!

Приемник будет первым твоим практическим шагом к познанию радиотехники. А чтобы этот шаг был уверенным, надо разобраться в сущности тех физических явлений, которые лежат в основе техники радиопередачи и радиоприема, поговорить о природе звука и несколько больше, чем в первой беседе, о переменном токе и его свойствах.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Вокруг нас все время рождаются и затухают колебательные явления. Колеблется ветка, с которой слетела птица. Колеблются маятники часов, качели. Под действием ветра колеблются деревья, провода, подвешенные на столбах, колеблется вода в озерах и морях.

Вот ты бросил на гладкую поверхность озера камень, и от него побежали волны (рис. 16). Что произошло? Частицы воды в месте удара камня вдавились, вытеснив соседние частицы, и на поверхности воды образовался кольцеобразный горб. Затем в месте падения камня вода поднялась вверх, но уже выше прежнего уровня — за первым горбом появился второй, а между ними — впадина. Далее частицы воды продолжают перемещаться попеременно вверх и вниз — колеблются, увлекая за собой все больше и больше соседних частиц воды. Образуются волны, расходящиеся от места своего возникновения концентрическими кругами.

Подчеркиваю: частицы воды только колеблются, но не движутся вместе с волнами. В этом нетрудно убедиться, бросив на колеблющуюся поверхность воды щепку. Если нет ветра или течения воды, щепка будет лишь опускаться и подниматься над уровнем воды, не перемещаясь вместе с волнами.

Водяные волны могут быть большими, т. е. сильными, или маленькими — слабыми. Сильными мы называем такие волны, которые имеют большой размах колебаний, как говорят, большие амплитуды колебания. Слабые волны имеют малые горбы — небольшую амплитуду. Чем больше амплитуда возникших волн, тем большую энергию они несут в себе.

Энергия волн, возникших от брошенного камня, относительно невелика, однако она может заставить колебаться камыш и траву, растущие в озере. Но мы знаем, какие большие резрушения берега могут производить морские волны, обладающие большими амплитудами и, следовательно, большой энергией. Эти разрушения осуществляются именно той энергией, которую волны непрерывно отдают берегу.

Волны могут быть частыми или редкими. Чем меньше расстояние между гребнями бегущих волн, тем короче каждая взятая в отдельности волна. Чем больше расстояние между волнами, тем длиннее волна. Длиной волны на воде мы называем расстояние между двумя соседними бегущими гребнями или впадинами. По мере удаления волн от места возникновения их амплитуды постепенно уменьшаются, затухают, но длина волн остается неизменной.

Волны на воде можно также создавать, например, погружая в воду палку и ритмично, в такт с колебаниями воды, опуская и поднимая ее. И в этом случае волны будут затухающими. Но существовать они будут лишь до тех пор, пока мы не прекратим возмущать поверхность воды.

А как возникают колебания обычных качелей? Это ты хорошо знаешь: их надо подтолкнуть, вот они и будут качаться из стороны в сторону. Чем сильнее толчок, тем больше амплитуда колебаний. Эти колебания будут затухать, если не поддерживать их дополнительными толчками. Такие и многие другие подобные механические колебания мы видим. В природе же больше невидимых колебаний, которые мы слышим, ощущаем в виде звука. Не всегда, например, можно заметить колебания струны музыкального инструмента, но мы слышим, как она звучит. При порывах ветра в трубе возникает звук. Его создают колебательные движения воздуха в трубе, которые мы не видим. Звучат камертон, стакан, ложка, тарелка, ученическое перо, лист бумаги — они тоже колеблются.

Да, юный друг, мы живем в мире звуков, потому что многие окружающие нас тела, колеблясь, звучат.

Как возникают звуковые волны в воздухе? Воздух состоит из невидимых для глаз частиц. При ветре они могут переноситься на большие расстояния. Но они, кроме того, могут и колебаться. Например, если в воздухе сделать резкое движение палкой, то мы почувствуем легкий порыв ветра и одновременно услышим слабый звук. Звук этот — результат колебаний частиц воздуха, возбужденных колебаниями палки.

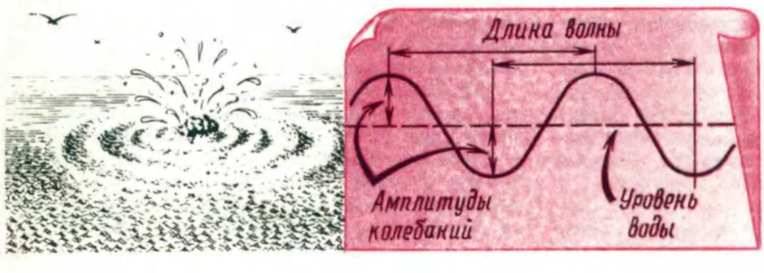


Рис. 16. При ударе камня о поверхность воды возникают волны

Проведи такой опыт. Оттяни струну, например, гитары, а потом отпусти ее. Струна начнет дрожать — колебаться относительно своего первоначального положения покоя. Достаточно сильные колебания струны заметны на глаз. Слабые колебания струны можно только почувствовать как легкое щекотание, если прикоснуться к ней пальцем. Пока струна колеблется, мы слышим звук. Как только струна успокоится, звук затихнет. Рождение звука здесь — результат сгущения и разрежения частиц воздуха. Колеблясь из стороны в сторону, струна теснит, как бы прессует перед собой частицы воздуха, образуя в некотором его объеме области повышенного давления, а сзади, наоборот, области пониженного давления. Это и есть звуковые волны. Распространяясь в воздухе со скоростью около 340 м/с, они несут в себе некоторый запас энергии. В тот момент, когда до уха доходит область повышенного давления звуковой волны, она надавливает на барабанную перепонку, несколько прогибая ее внутрь. Когда же до уха доходит разреженная область звуковой волны, барабанная перепонка выгибается несколько наружу. Барабанная перепонка все время колеблется в такт с чередующимися областями повышенного и пониженного давления воздуха. Эти колебания передаются по слуховому нерву в мозг, и мы воспринимаем их как звук. Чем больше амплитуды звуковых волн, тем больше энергии несут они в себе, тем громче воспринимаемый нами звук.

Звуковые волны, как и водяные или электрические колебания, изображают волнистой линией — *синусоидой*. Ее горбы соответствуют областям повышенного давления, а впадины — областям пониженного давления воздуха. Область повышенного давления и следующая за нею область пониженного давления образуют звуковую волну.

Мы живем и в мире электромагнитных колебаний, излучаемых электрическими приборами и всеми проводами, в которых течет переменный ток, огромным числом антенн радиостанций, атмосферными электрическими разрядами, недрами Земли и бесконечным Космосом. Только с помощью приборов, созданных человеком, они могут быть обнаружены и зафиксированы.

ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

Важнейшим параметром, характеризующим механические, звуковые, электрические, электромагнитные и все другие виды колебаний, является *период* — время, в течение которого совершается одно полное колебание. Если, например, маятник часов-ходиков делает за 1 с два полных колебания, период каждого колебания равен 0,5 с. Период колебаний больших качелей около 2 с, а период колебаний струны может составлять от десятых до десятитысячных долей секунды.

Другим параметром, характеризующим колебания, является *частота* (от слова «часто») — число, показывающее, сколько полных колебаний в секунду совершают маятник часов, звучащее тело, ток в проводнике и т. п. Частоту колебаний оценивают единицей, носящей название герц (сокращенно пишут Гц): 1 Гц — это одно колебание в секунду. Если, например, звучащая струна совершает 440 полных колебаний в 1 с (при этом она создает тон «ля» третьей октавы), говорят, что частота ее колебаний 440 Гц. Частота переменного тока электроосветительной сети 50 Гц. При таком токе электроны в проводах сети в течение секунды текут попеременно 50 раз в одном направлении и столько же раз в обратном, т. е. совершают за 1 с 50 полных колебаний.

Более крупные единицы частоты — килогерц (пишут кГц), равный 1000 Гц, и мегагерц (пишут МГц), равный 1000 кГц или 1 000 000 Гц.

По частоте колебаний звучащего тела можно судить о тоне или высоте звука. Чем больше частота, тем выше тон звука, и, наоборот, чем меньше частота, тем ниже тон звука. Наше ухо способно реагировать на сравнительно небольшую полосу (участок) частот звуковых колебаний — примерно от 20 Гц до 20 кГц. Тем не менее эта полоса частот вмещает всю обширнейшую гамму звуков, создаваемых голосом человека, симфоническим оркестром: от очень низких тонов, похожих на звук жужжания жука, до еле уловимого высокого писка комара. Колебания частотой до 20 Гц, называемые инфразвуковыми, и свыше 20 кГц, называемые ультразвуковыми, мы не слышим. А если бы барабанная перепонка нашего уха оказалась способной реагировать и на ультразвуковые колебания, мы могли бы тогда услышать писк летучих мышей, голос дельфина. Дельфины издают и слышат ультразвуковые колебания с частотами до 180 кГц.

Но, юный друг, не путай высоту, т. е. тон звука, с силой его. Высота звука зависит не от амплитуды, а от частоты колебаний. Толстая и длинная струна музыкального инструмента, например, создает низкий тон звука, т. е. колеблется медленнее, чем тонкая и короткая струна, создающая высокий тон звука. Разобраться в этом вопросе тебе поможет рис. 17.

В электро- и радиотехнике используют переменные токи частотой от нескольких герц до тысяч гигагерц. Антенны широковещательных радиостанций, например, питаются токами частотой примерно от 150 кГц до 100 МГц. Эти быстропеременные колебания, называемые

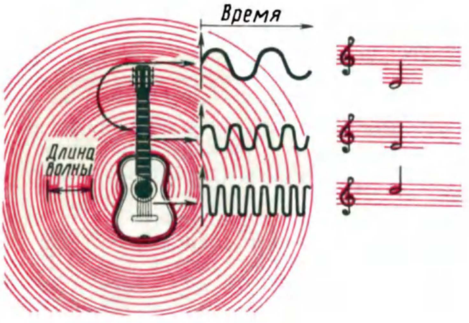


Рис. 17. Чем больше частота колебаний струны, тем короче звуковые волны и выше тон звука

колебаниями радиочастоты, и являются тем средством, с помощью которого осуществляется передача звуков на большие расстояния без проводов.

Весь огромный диапазон переменных токов принято подразделять на несколько участков — поддиапазонов. Токи частотой от 20 Гц до 20 кГц, соответствующие колебаниям, воспринимаемым нами как звуки разной тональности, называют токами (или колебаниями) звуковой частоты, а токи частотой выше 20 кГц — токами ультразвуковой частоты. Токи частотой от 100 кГц до 30 МГц называют токами высокой частоты, а токи частотой выше 30 МГц — токами ультравысокой и сверхвысокой частоты.

Запомни хорошенько эти границы и названия поддиапазонов частот переменных токов.

О МИКРОФОНЕ И РАДИОВОЛНАХ

Предположим, ты снимаешь трубку телефонного аппарата, набираешь или называешь нужный номер. Вскоре ты слышишь голос товарища, а он — твой. Какие электрические явления происходят во время вашего телефонного разговора?

Звуковые колебания воздуха, созданные тобой, преобразуются микрофоном в электрические колебания звуковой частоты, которые по проводам передаются к аппаратуре твоего собеседника. Там, на другом конце линии, они с помощью излучателя телефона преобразуются в колебания воздуха, воспринимаемые твоим приятелем как звуки. В телефонии средством связи между аппаратами служат провода, а в радиовещании — радиоволны.

В телефонии для преобразования звука в электрические колебания звуковой частоты используют обычно угольные микрофоны, а в радиовещании — электродинамические. Примером микрофона электродинамического типа может служить, например, микрофон МД-42 (рис. 18), используемый радиолюбителями в аппаратуре звукозаписи. Он имеет сильный постоянный магнит 2, напоминающий толстостенный стакан, с круглым сердечником-керном 3 в середине. Такой магнит, если разрезать его вдоль, похож на букву Ш. К стороне, противоположной «дну» магнита, прикреплен фланец 5 — стальная накладка с круглым отверстием в середине. Между фланцем и керном магнита образуется узкий воздушный кольцевой зазор, в котором действует сильное магнитное поле. В кольцевом магнитном поле, не касаясь ни керна, ни фланца, находится звуковая катушка 4 из изолированного провода. Катушка скреплена с мембраной 6, сделанной из алюминиевой фольги или пластмассы. Края мембраны гофрированы, благодаря чему она и скрепленная с ней звуковая катушка обладают подвижностью. Весь механизм микрофона находится в металлическом корпусе 1. В крышке корпуса сделаны отверстия для прохода звуковых волн.

Принцип работы такого микрофона основан на свойствах электромагнитной индукции, о которой я рассказывал тебе в первой беседе. Пока катушка микрофона неподвижна, в ней не индуцируются электрические колебания, хотя она и находится в самой гуще магнитных силовых линий. Но вот перед микрофоном зазвучала, например, струна. Сразу же в такт с областями пониженного и повышенного давления звуковых волн начинает колебаться мембрана. Колеблясь, она увлекает за собой катушку. При этом катушка пересекает магнитные силовые линии и в ней индуцируется переменное напряжение той же частоты, что и у зву-

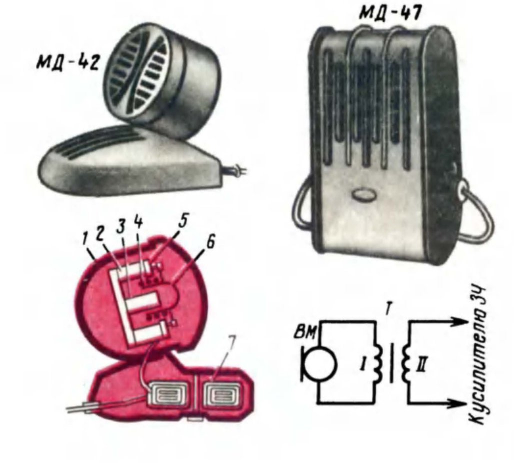


Рис. 18. Внешний вид и устройство электродинамического микрофона МД-42

ковых колебаний. Чем выше тон звука, тем выше частота этого тона. Чем громче звук, тем больше амплитуда электрических колебаний звуковой частоты.

В микрофонной подставке находится трансформатор 7, с помощью которого напряжение звуковой частоты, созданное электромагнитной системой микрофона, повышается, далее усиливается до необходимого уровня студийным усилителем и от него передается по проводам к передатчику.

«Сердцем» передатчика любой радиостанции является генератор — устройство, вырабатывающее колебания высокой, но строго постоянной для данной радиостанции частоты. Эти колебания радиочастоты, усиленные до необходимой мощности, поступают в антенну и возбуждают в окружающем ее пространстве электромагнитные колебания точно такой же частоты — радиоволны. Скорость удаления радиоволн от антенны радиостанции равна скорости света: 300 000 км/с, что почти в миллион раз быстрее распространения звука в воздухе. Это значит, что если на Московской радиовещательной станции в некоторый момент времени включили передатчик, то ее радиоволны меньше чем за 1/30 с дойдут до Владивостока, а звук за это время успеет распространиться всего на 10...11 м.

Радиоволны распространяются не только в воздухе, но и там, где его нет, например в космическом пространстве. Этим они отличаются от звуковых волн, для которых совершенно необходим воздух или какая-либо другая плотная среда, например вода.

Когда радиовещательная станция начинает свои передачи, диктор иногда сообщает, что данная радиостанция работает на волне такой-то длины. Волну, бегущую по поверхности воды, мы видим и при известной ловкости можем измерить ее длину. Длину же радиоволн можно измерить только с помощью специальных приборов или рассчитать математическим путем, если, конечно, известна частота тока, возбуждающего эти волны.

Длина радиоволны — это расстояние, на которое распространяется энергия электромагнитного поля за период колебания тока в антенне радиостанции. Понимать это надо так. За время одного периода тока в антенне передатчика в пространстве вокруг нее возникает одна радиоволна. Чем выше частота тока, тем больше следующих друг за другом радиоволн излучается антенной в течение каждой секунды. Допустим, частота тока в антенне радиостанции составляет 1 МГц. Значит, период этого тока и возбужденного им электромагнитного поля равен одной миллионной доле секунды. За 1 с радиоволна проходит расстояние 300 000 км, или 300 000 000 м. За одну миллионную долю секунды она пройдет расстояние в миллион раз меньше, т. е. 300 000 000 : 1 000 000. Следовательно, длина волны данной радиостанции равна 300 м.

Итак, длина волны радиостанции зависит от частоты тока в ее антенне: чем больше частота тока, тем короче волна, и наоборот, чем меньше частота тока, тем длиннее волна. Чтобы узнать длину волны радиостанции, надо скорость распространения радиоволн, выраженную в метрах, разделить на частоту тока в ее антенне. И наоборот, чтобы узнать частоту тока в антенне радиостанции, надо скорость распространения радиоволн разделить на длину волны этой радиостанции.

Для перевода частоты тока передатчика в мегагерцах в длину волны в метрах и обратно удобно пользоваться такими формулами: λ (м) = 300/f (МГц); f (МГц) = 300/λ (м), где λ (греческая буква «лямбда») — длина волны; f — частота колебаний; 300 — скорость распространения радиоволн, выраженная в тысячах километров в секунду.

Хочу тебя предупредить: не путай понятие о длине волны, на которой работает радиостанция, с дальностью ее действия, т. е. с расстоянием, на котором передачи этой станции могут быть приняты. Дальность действия радиостанций, правда, зависит от длины волны, но не отождествляется с нею. Так, передача станции, работающей на волне длиной в несколько десятков метров, может быть услышана на расстоянии в несколько тысяч километров, но не всегда слышна на более близких расстояниях. В то же время передача радиостанции, работающей на волне длиной в сотни и тысячи метров, часто не слышна на таких больших расстояниях, на которых слышны передачи коротковолновых станций.

Итак, каждая радиовещательная станция работает на определенной, отведенной для нее частоте, называемой несущей. Длины волн различных радиостанций неодинаковы, но строго постоянны для каждой из них. Это и дает возможность принимать передачи каждой радиостанции в отдельности, а не все одновременно.

РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ВОЛН

Весьма широкий участок радиоволн, отведенный для радиовещательный станций, условно подразделен на несколько диапазонов: длинноволновый (сокращенно ДВ), средневолновый (СВ), коротковолновый (КВ), ультракоротковолновый (УКВ). В нашей стране длинноволновый диапазон охватывает радиоволны длиной от 735,3 до 2000 м, что соответствует частотам 408...150 кГц; средневолновый — радиоволны длиной от 186,9 до 571,4 м (радиочастоты 1605...525 кГц); коротковолновый — радиоволны длиной от 24,8 до 75,5 (радиочастоты 12,1...3,95 МГц); ультракоротковолновый — радиоволны длиной от 4,11 до 4,56 м (радиочастоты 3...65,8 МГц).

Радиоволны УКВ диапазона называют также метровыми волнами; вообще же ультракороткими волнами называют все волны короче 10 м. В этом диапазоне ведутся телевизионные передачи, работают связные радиостанции, оборудованные на автомашинах пожарной охраны, такси, медицинского обслуживания населения на дому, безопасности уличного движения.

Радиочастоты коротковолновых вещательных станций неравномерно распределены по диапазону: больше всего их работает на волнах длиной около 25, 31, 41 и 50 м. Соответственно этому коротковолновый радиовещательный диапазон подразделяется на 25-, 31-, 41- и 50-метровый поддиапазоны.

Согласно международному соглашению волна длиной 600 м (500 кГц) отведена для передачи сигналов бедствия кораблями в море — SOS. На этой волне работают все морские аварийные радиопередатчики, на эту волну настроены приемники спасательных станций и маяков.

РАДИОПЕРЕДАЧА

Если сложное техническое оснащение радиовещательной станции изобразить упрощенно в виде условных знаков и прямоугольников, то получится ее структурная схема в таком виде, как показано на рис. 19. Здесь пять основных приборов и устройств: студийный микрофон, усилитель звуковой частоты (ЗЧ), генератор колебаний радиочастоты (РЧ), усилитель мощности колебаний радиочастоты и антенна, излучающая электромагнитную энергию радиоволн. Пока студийный микрофон не включен, в антенне станции течет ток высокой (несущей), но строго постоянной частоты и амплитуды (см. левые части графиков на рис. 20). Антенна при этом излучает радиоволны неизменной длины и мощности. Но вот в студии включили микрофон, и люди, находящиеся за десятки, сотни и тысячи километров от радиостанции, услышали знакомый голос диктора.

Что же в это время происходит в передатчике радиостанции? Колебания звуковой частоты, созданные микрофоном и усиленные студийным усилителем ЗЧ, подают в так называемый модулятор, входящий в усилитель мощности передатчика, и там, воздействуя на ток высокой частоты генератора, изменяют его амплитуду колебаний. От этого изменяется излучаемая антенной передатчика электромагнитная энергия (см. правые части графиков на рис. 20). Чем больше частота тока, поступающего из радиостудии в передатчик, тем с большей частотой изменяются амплитуды тока в антенне.

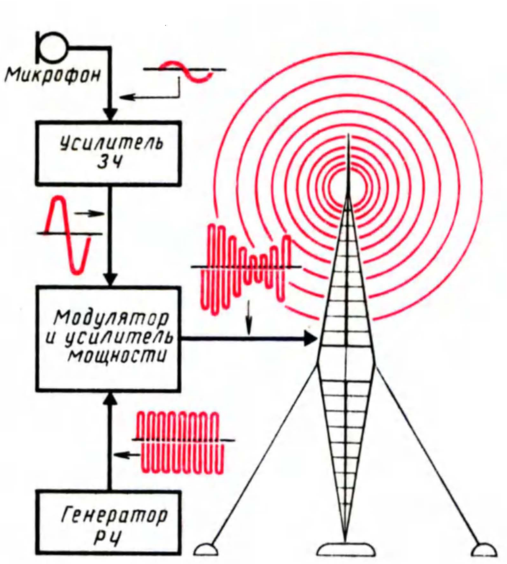


Рис. 19. Структурная схема радиовещательной станции

Так звук, преобразованный микрофоном в электрические колебания звуковой частоты, получает «путевку» в эфир.

Процесс изменения амплитуд высокочастотных колебаний под действием тока звуковой частоты называют *амплитудной модуляцией*

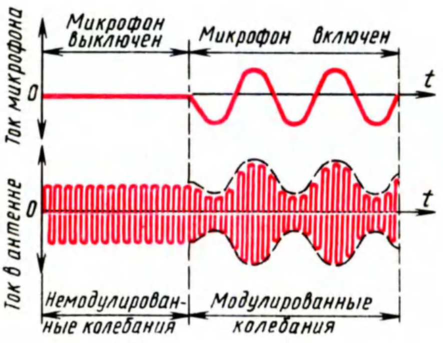


Рис. 20. При действии звука на микрофон ток высокой частоты в антенне передатчика изменяется по амплитуде

(АМ). Изменяемые же по амплитуде токи высокой частоты в антенне и излучаемые ею радиоволны носят название *модулированных колебаний радиочастоты*.

Кроме амплитудной модуляции существует еще так называемая *частотная модуляция* (ЧМ). При таком виде модуляции изменяется частота, а амплитуда колебаний радиочастоты в антенне радиостанции остается неизменной. Частотную модуляцию применяют, например, для передачи звукового сопровождения в телевидении, в радиовещании на УКВ. В радиовещании на ДВ, СВ и КВ используют только амплитудную модуляцию.

Радиоволны не могут быть обнаружены ни одним органом наших чувств. Но если на их пути встречается проводник, они отдают ему часть своей энергии. На этом явлении и основан прием радиопередач. Улавливание энергии радиоволн приемником осуществляет его антенна. Отдавая антенне часть электромагнитной энергии, радиоволны индуцируют в ней модулированные колебания радиочастоты.

В приемнике происходят процессы, обратные тем, которые осуществляются в студии и на передатчике радиостанции. Если там звук последовательно преобразуется сначала в электрические колебания звуковой частоты, а затем в модулированные колебания радиочастоты, то при радиоприеме решается обратная задача: модулированные колебания радиочастоты, возбужденные в антенне, приемник преобразует в электрические колебания звуковой частоты, а затем в звук. В простейшем приемнике, работающем только благодаря энергии, уловленной антенной, модулированные колебания радиочастоты преобразуются в колебания звуковой частоты детектором, а эти колебания в звук — головными телефонами.

Но ведь антенну приемника пронизывают радиоволны множества радиостанций, возбуждая в ней модулированные колебания самых различных радиочастот. И если все эти радиосигналы преобразовать в звуки, то мы услышали бы сотни голосов людей, разговаривающих на разных языках. Вряд ли такой радиоприем нас устроил бы. Разумеется, интересно послушать передачи разных станций, но только, конечно, не все одновременно, а каждую в отдельности. А для этого из колебаний всех частот, возбуждающихся в антенне, надо выделить колебания с частотой той радиостанции, передачи которой мы хотим слушать. Эту задачу выполняет колебательный контур, являющийся обязательной частью как самого простого, так и самого сложного радиовещательного приемника. Именно с помощью колебательного контура ты будешь в следующей беседе настраивать свой первый приемник на сигналы радиостанций разной длины волны.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

В заключение этой беседы, которая, надеюсь, помогла тебе разобраться в сущности радиопередачи и радиоприема, надо сказать о некоторых особенностях распространения радиоволн. Дело в том, что радиоволны разных диапазонов обладают неодинаковыми свойствами, влияющими на дальность их распространения. Волны одной длины преодолевают большие расстояния, волны другой длины «теряются» за пределами горизонта. Бывает так, что радиосигнал превосходно слышен где-то по ту сторону Земли или в Космосе, но его невозможно обнаружить в нескольких десятках километров от радиостанции.

Если бы мы настроили приемники на несущие частоты рядом расположенных радиостанций, работающих в диапазонах УКВ, КВ, СВ и ДВ, то, удаляясь от радиостанций, смогли бы наблюдать такое явление: уже на расстоянии в несколько десятков километров прекратился бы прием УКВ и КВ станций, через 800...1000 км перестанут быть слышны передачи СВ, а через 1500...2000 км — и передачи ДВ станции. Но на бóльшем расстоянии можно услышать передачу КВ станции.

Чем это объяснить? Что влияет на «дальнобойность» радиоволн разной длины? Земля и окружающая ее атмосфера.

Земля — проводник тока, хотя и не такой хороший, как, скажем, медные провода. Земная атмосфера состоит из трех слоев. Первый слой, верхняя граница которого кончается в 10...12 км от поверхности Земли, называется тропосферой. Над ним, километров до 50 от поверхности Земли, находится второй слой — стратосфера. А выше, примерно до 400 км над Землей, простирается третий слой — ионосфера (рис. 21). Ионосфера играет решающую роль в распространении радиоволн, особенно коротких.

Воздух в ионосфере сильно разрежен. Под действием солнечных излучений там из атомов газов выделяется много свободных электронов,

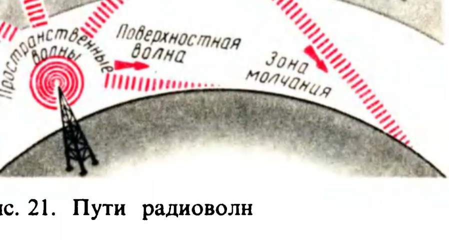


Рис. 21. Пути радиоволн

в результате чего появляются положительные ионы. Происходит, как говорят, ионизация верхнего слоя атмосферы. Ионизированный слой способен поглощать радиоволны и искривлять их путь. В течение суток в зависимости от интенсивности солнечного излучения количество свободных электронов в ионизированном слое, его толщина и высота изменяются, а от этого изменяются и электрические свойства этого слоя.

Антенны радиостанций излучают радиоволны вдоль поверхности Земли и вверх под различными углами к ней. Волны, идущие вдоль поверхности, называют земными или поверхностными, под различными углами — пространственными. При передаче сигналов ДВ станций используется главным образом энергия поверхностных волн, которые хорошо огибают поверхность Земли. Но Земля, являясь проводником, поглощает энергию радиоволн. Поэтому по мере удаления от ДВ станции громкость приема ее передач постепенно уменьшается и наконец прием совсем прекращается.

Средние волны хуже огибают Землю и, кроме того, сильнее, чем длинные, поглощаются ею. Этим-то и объясняется меньшая «дальнобойность» СВ радиовещательных станций по сравнению с ДВ станциями. Так сигналы радиостанции, работающей на волне длиной 300...400 м, могут быть приняты на расстоянии, в два-три раза меньшем, чем сигналы станции такой же мощности, но работающей на волне длиной 1500...2000 м. Чтобы повысить дальность действия СВ станций, приходится увеличивать их мощность.

В вечернее и ночное время суток передачи ДВ и СВ радиостанций можно слышать на бóльших расстояниях, чем днем. Дело в том, что излучаемая вверх часть энергии радиоволн этих станций днем бесследно теряется в атмосфере. После же захода Солнца нижний слой ионосферы искривляет их путь так, что они возвращаются к Земле на таких расстояниях, на которых прием этих станций поверхностными волнами уже невозможен.

Радиоволны КВ диапазона сильно поглощаются Землей и плохо огибают ее поверхность. Поэтому уже на расстоянии в несколько десятков километров от радиостанций их поверхностные волны затухают. Но зато пространственные волны могут быть обнаружены приемниками на расстоянии в несколько тысяч километров от них и даже в противоположной точке Земли. Искривление пути пространственных коротких волн происходит в ионосфере. Войдя в ионосферу, они могут пройти в ней очень длинный путь и вернуться на Землю далеко от радиостанции. Они могут совершить кругосветное путешествие — их можно принять даже в том месте, где расположена передающая станция. Этим и объясняется секрет хорошего распространения коротких волн на большие расстояния даже при малых мощностях передатчика.

Но при распространении коротких волн могут образовываться зоны, где передачи КВ радиостанции вообще не слышны. Их называют зонами молчания (см. рис. 21). Протяженность зоны молчания зависит от длины волны и состояния ионосферы, которое, в свою очередь, зависит от интенсивности солнечного излучения.

Ультракороткие волны по своим свойствам наиболее близки к световым лучам. Они в основном распространяются прямолинейно и сильно поглощаются землей, растительным миром, различными сооружениями, предметами. Поэтому уверенный прием сигналов УКВ станций поверхностной волны возможен главным образом лишь тогда, когда между антеннами передатчика и приемника можно мысленно провести прямую линию, не встречающую по всей длине каких-либо препятствий в виде гор, возвышенностей, лесов. Ионосфера для УКВ подобна стеклу для света — «прозрачна». Ультракороткие волны почти беспрепятственно проходят через нее. Поэтому этот диапазон радиоволн используют для связи с искусственными спутниками Земли и космическими кораблями.

Но наземная дальность действия даже мощной УКВ радиостанции не превышает, как правило, 100...200 км. Лишь путь наиболее длинных волн этого диапазона (8...9 м) несколько искривляется нижним слоем ионосферы, как бы пригибая волны к земле. Благодаря этому расстояние, на котором возможен прием сигналов УКВ передатчика, может быть большим. Иногда, однако, передачи УКВ станций слышны на расстояниях в сотни и тысячи километров от них.

* * *

Радиолюбители, увлеченные радиоспортом, помогают ученым раскрывать секреты распространения УКВ.

БЕСЕДА ТРЕТЬЯ

ТВОЙ ПЕРВЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Практическое знакомство с радиотехникой обычно начинается с постройки самого простого радиовещательного приемника — детекторного. Советую и тебе не нарушать эту радиолюбительскую традицию.

Но детекторный приемник, как, впрочем, и некоторые простые транзисторные, не будет удовлетворительно работать без внешней антенны и заземления. С них поэтому тебе и придется начать свои первые практические шаги в радиотехнике.

АНТЕННА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Слово «антенна» пришло к нам из греческого языка. Греки называли антенной щупальца или усики насекомых. Приемная антенна — это тоже щупальца, которыми она «захватывает» из пространства энергию радиоволн. Чем больше энергии приемник получит от своей антенны, тем громче он будет работать. Это особенно важно для детекторного приемника, который работает исключительно благодаря энергии радиоволн.

Конструкций антенн много. Бóльшая часть из них — это длинные провода, поднятые высоко над землей. Антенны этих видов называют наружными, так как они находятся снаружи зданий. Те же антенны, которые располагают внутри зданий, называют комнатными или внутренними. Наружные антенны по приемным свойствам лучше внутренних.

Тебе, пока что начинающему радиолюбителю, рекомендую соорудить наружную антенну. Однако сначала сделай заземление. Дело в том, что под действием атмосферных разрядов в проводе наружной антенны могут накапливаться столь значительные электрические заряды, что они будут ощущаться при прикосновении к проводу. Соединив же с землей провод будущей наружной антенны, ты отведешь заряды в землю.

Заземление. Возможно ближе к окну, через которое ты предполагаешь вводить провода заземления и антенны, вырой яму такой глубины, где земля всегда сохраняет влагу. В яму уложи какой-нибудь металлический предмет, например старое, но не заржавевшее ведро (рис. 22, *а*) или лист оцинкованного железа (рис. 22, *б*) размерами примерно 50 × 100 см, предварительно припаяв к нему отрезок провода такой длины, чтобы протянуть его до твоего рабочего места. Металлический предмет засыпь землей, но осторожно, чтобы не перерубить лопатой провод заземления, и хорошо утрамбуй землю. После этого провод заземления прикрепи к стене дома скобами, сделанными из гвоздей или стальной проволоки.

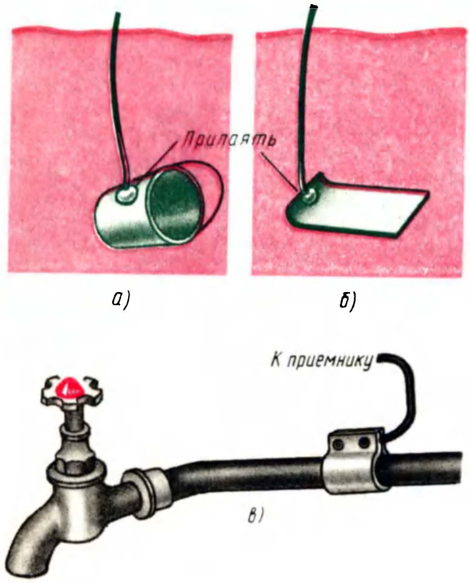


Рис. 22. Заземление

Если ты живешь в городе, то заземлением могут служить трубы водопровода, центрального парового или водяного отопления, так как они имеют хороший электрический контакт с землей. Трубу (по возможности ближе к твоему рабочему месту) надо осторожно зачистить до блеска напильником и туго обмотать этот участок трубы концом зачищенного медного провода, который пойдет к приемнику. Надежный контакт провода с трубой можно сделать и с помощью металлического хомута (рис. 22, *в*).

Наружная антенна. Лучше всего соорудить Г-образную антенну, напоминающую внешним видом букву «Г» (рис. 23). Такая антенна состоит из провода длиной 20...40 м, подвешенного с помощью опор-мачт на высоту 10...15 м над землей, и снижения – такого же провода, свисающего вниз, конец которого подключают к радиоприемнику. Ту часть снижения, которую вводят в дом, называют вводом антенны. Чем длиннее горизонтальная часть антенны и чем выше она поднята над землей, тем лучше радиоприем.

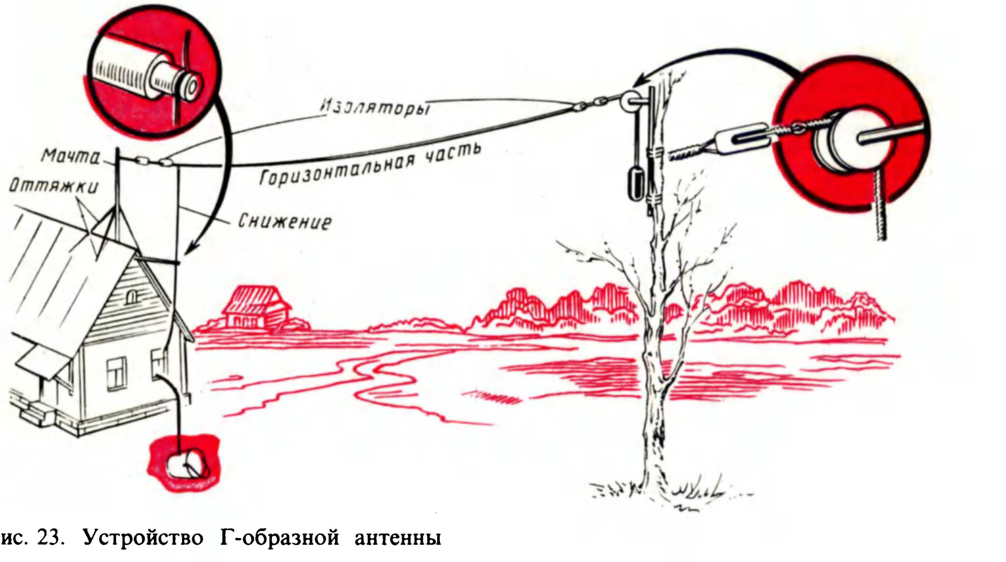


Рис. 23. Устройство Г-образной антенны

Для такой антенны удобно применить антенный канатик — многожильный провод, свитый из нескольких тонких медных проводов, или медную проволоку толщиной 1,5...2 мм. В крайнем случае можно использовать оцинкованную стальную или железную проволоку такой же толщины. Более тонкая проволока не годится, антенна из нее получится непрочной. Непригодна для антенны алюминиевая проволока, так как на воздухе она становится хрупкой и обрывается.

Желательно, чтобы горизонтальная часть, снижение и ввод антенны были сделаны одним отрезком провода. Если нет провода необходимой длины, то соединяемые участки проводов нужно зачистить до блеска, прочно скрутить и обязательно пропаять места скруток.

Определяя место подвески горизонтальной части антенны, учитывай возможность использования крыши своего дома. Близко к железной крыше дома и над деревьями антенну подвешивать не рекомендуется. Если неподалеку проходят провода электрического освещения, то горизонтальную часть антенны располагай по возможности перпендикулярно им и подальше от них.

Имей в виду: категорически запрещается подвешивать провод антенны над линиями электрического освещения, телефонными и другими проводами, а также крепить шесты к водосточным, вентиляционным и дымоходным трубам, телефонным столбам, столбам электрического освещения.

Для мачт, устанавливаемых на крышах домов, нужны шесты длиной 3...4 м, диаметром у основания 8...10 см, а у вершины 4...5 см. В сельской местности в качестве одной из опор можно использовать дерево. К шестам, отступая от вершины на 15...20 см, прикрепи по три отрезка стальной проволоки длиной несколько больше длины шестов; они будут оттяжками. На вершине одного из шестов укрепи блок. Пропусти через него прочную веревку, а лучше тонкий металлический трос для подъема горизонтальной части антенны, а в дальнейшем для регулировки ее натяжения. Под мачты обязательно сделай дощатые опорные площадки с гнездами для их оснований. Устанавливать мачты удобнее вдвоем: один держит мачту в вертикальном положении, а другой закрепляет ее оттяжки на костылях или гвоздях, вбитых в крышу. Если кровля железная, оттяжки можно крепить в закроях железа.

Провод горизонтального луча антенны подвешивай к мачтам на двух цепочках из антенных изоляторов (рис. 24, *а*) или фарфоровых роликах (рис. 24, *б*), используемых для комнатной электропроводки. В каждой цепочке должно быть не менее чем по два изолятора. Одну цепочку крепи к вершине мачты без блока, вторую — к веревке (тросу), перекинутой через блок на второй мачте.

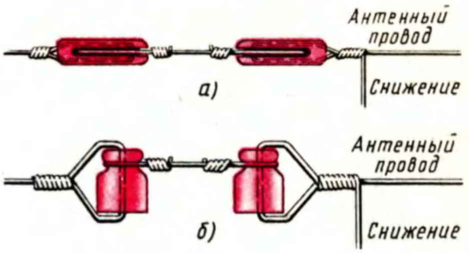


Рис. 24. Цепочка изоляторов

Разматывая провод, не выпускай моток из рук, следи за тем, чтобы на проводе не образовывались петли, перегибы. Ту часть провода, которая будет снижением, временно, пока не закончишь подъем и крепление горизонтальной части антенны, соедини с заземлением. Если для снижения приходится использовать отдельный отрезок провода, место его скрутки с горизонтальным лучом обязательно пропаяй. Сильно натягивать провод горизонтального луча не следует, так как во время зимних морозов его длина заметно уменьшается, провод натягивается и может оборваться или поломать опоры.

Чтобы снижение не болталось и не соприкасалось с кровлей или другими частями дома, укрепи на стене или на краю крыши шест или брусок с роликом и привяжи к нему провод снижения.

Если в качестве одной опоры антенны использовать дерево, то к его стволу нужно привязать шест с блоком на конце, как показано на рис. 23. Свободный конец троса, пропущенный через блок, к стволу не крепи — во время ветра качающееся дерево может оборвать провод антенны. К нему надо привязать какой-нибудь груз, например камень. Подбирая массу этого груза, легко добиться необходимого натяжения горизонтального луча антенны.

Если по каким-либо причинам тебе не удастся соорудить Г-образную антенну на двух опорах, сделай ее в виде наклонного луча. Для этого потребуется одна опора высотой 10...15 м. Второй конец провода крепи на изоляторе возле окна, через которое антенну будешь вводить в дом. Если дом высокий, а ты живешь на первом или втором этаже, неплохой наружной антенной может быть провод, вертикально или с наклоном свисающий к твоему окну.

Наружная антенна может быть и одномачтовой, например типа «метелка» (рис. 25). Она состоит из 40—80 прутков проволоки без изоляции толщиной 1,0...1,5 мм и длиной по

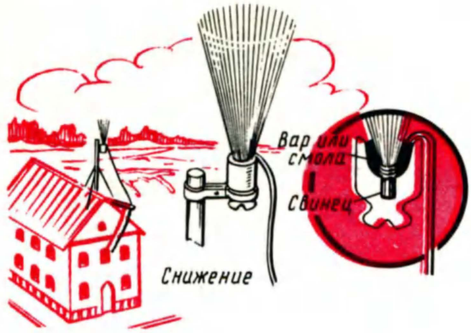


Рис. 25. Антенна типа «метелка»

40...50 см. Прутки должны быть зачищены с одного конца и туго стянуты концом провода, предназначенного для снижения. Нижнюю часть метелки желательно залить расплавленным свинцом, чтобы обеспечить надежный контакт между отдельными ее прутками. Пучок прутков надо вставить в отверстие большого фарфорового изолятора или толстостенный фарфоровый либо стеклянный стакан подходящего диаметра, а затем залить варом или смолой. Свободные концы прутков расправляют наподобие метлы. Изолятор крепят к мачте железным хомутиком или проволокой.

Вводы антенны и заземления. В сельской местности для оборудования ввода наружной антенны кроме изоляционных материалов потребуется еще грозовой переключатель — небольшой рубильник с зубчатыми пластинками, образующими искровой промежуток. Провода снижения и заземления вводи внутрь комнаты через отверстия, просверленные в стене (рис. 26), оконной колодке или неоткрывающейся раме окна. Сверли их с небольшим наклоном в сторону улицы, чтобы через них в комнату не затекала дождевая вода. Возможно ближе к этим отверстиям укрепи грозовой переключатель.

В отверстие для антенного ввода с наружной стороны вставь фарфоровую воронку, а с внутренней — втулку. Вставь в них резиновую, поливинилхлоридную или иную изоляционную трубку, а через трубку пропусти конец провода снижения. Если нет фарфоровых воронки и втулки, можно обойтись одной изоляционной трубкой.

Провод заземления вводи без изоляционных материалов, только со стороны комнаты вставь в отверстие втулку, чтобы не испортить внешний вид стены. Ввод антенны укрепи на роликах и, сделав на конце провода петельку, закрепи ее под верхний зажим грозопереключателя. Ввод заземления прибей к стене проволочными скобами. На конце провода заземления тоже сделай петельку и прочно зажми ее под винт ножа грозопереключателя. Далее заготовь два отрезка изолированного провода такой длины, чтобы дотянуть их до твоего рабочего места. Подойдет провод, применяемый для электросети. Концы проводов зачисть от изоляции. Один из них закрепи под нижний свободный зажим грозопереключателя, другой — под его верхний зажим (с которым соединен ввод антенны). Противоположными концами эти провода будешь подключать к приемнику.

Зачем нужен грозопереключатель? Чтобы отводить в землю электрические заряды, возникающие в проводах наружной антенны под действием различных атмосферных явлений. Когда приемником не пользуются, антенна должна быть заземлена — нож грозопереключателя устанавливают в верхнее положение. Перед началом радиопередач нож грозопереключателя перекидывают вниз, переключая заземление на

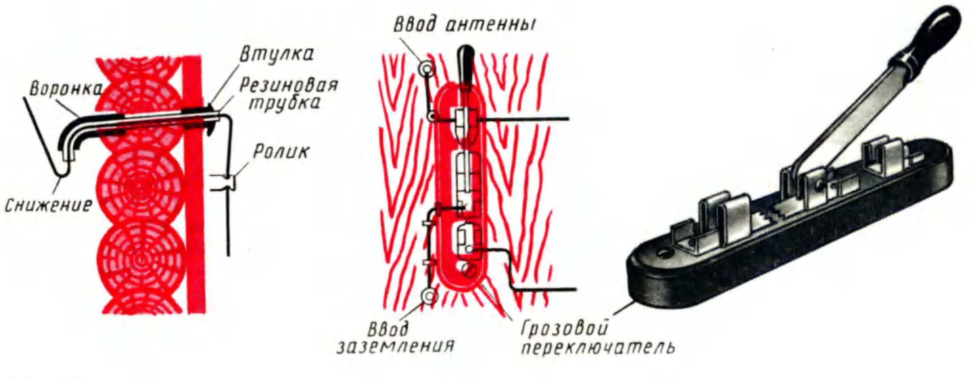


Рис. 26. Оборудование вводов антенны и заземления и установка грозового переключателя

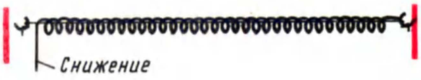


Рис. 27. Комнатная спиральная антенна

приемник. Если к радиопередаче начинают примешиваться значительные трески, являющиеся признаком приближения грозы (в это время заряды из антенны уходят в землю через искровой промежуток), радиоприем желательно прекратить, а антенну заземлить. При этом приемник перестает работать, а создающиеся в антенне электрические заряды через нож переключателя стекают в землю, не причиняя вреда ни приемнику, ни слушателю.

Этих предосторожностей вполне достаточно, чтобы не иметь неприятностей от наружной антенны во время грозы.

Комнатная антенна. Для приема сигналов местной или отдаленной мощной радиовещательной станции можно пользоваться также комнатной антенной. Для ее устройства нужно в углах комнаты под потолком привернуть фарфоровые ролики и натянуть между ними изолированный или голый провод. Его можно протянуть вдоль одной, двух, трех или всех четырех стен комнаты. Один из концов провода пойдет вниз, к приемнику. Такая антенна будет тем лучше, чем длиннее ее провод и чем выше над землей находится комната.

Можно также соорудить спиральную комнатную антенну (рис. 27), представляющую собой изолированный или голый провод длиной 10...15 м, свитый в спираль на круглой болванке. Спиральную антенну нужно подвесить на шнуре или капроновой леске между стенами комнаты. Снижение к радиоприемнику можно сделать от любого конца или витка спирали. Грозопереключатель для комнатной антенны не нужен.

ПЕРВЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Главное достоинство этого варианта простейшего радиоприемного устройства заключается в том, что в нем легко делать любые изменения и дополнения, исправлять ошибки путем переключения соединительных проводников, поскольку все его детали будут лежать перед тобой в развернутом виде. Опыты с ним помогут тебе понять основные принципы работы любого радиовещательного приемника и получить некоторые практические навыки радиотехнического конструирования.

Для такого приемника понадобятся (рис. 28): катушка индуктивности, стержень из феррита марки 400НН или 600НН диаметром 7...8 мм и длиной 120...140 мм (такие стержни используют для магнитных антенн транзисторных приемников), полупроводниковый точечный диод, который в приемнике будет детектором, несколько конденсаторов постоянной емкости и головные телефоны. Катушку индуктивности сделай сам. Остальные детали готовые. Диод может быть любым из серий Д9, Д2. Конденсаторы также любых типов — слюдяные, керамические или бумажные емкостью от нескольких десятков до нескольких тысяч пикофарад (сокращенно: пФ). Головные телефоны высокоомные, т. е. с обмотками сопротивлением 1500...2200 Ом, например типа ТОН-1 или ТА-4. Несколько позже, когда приступишь к экспериментам, нужны будут некоторые другие детали и материалы.

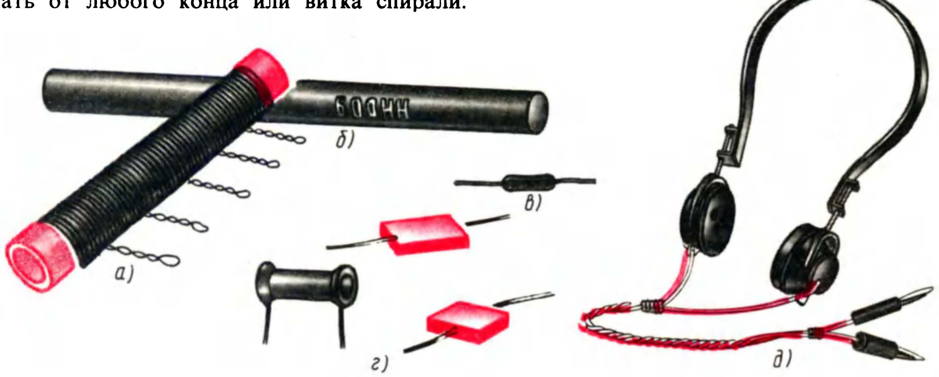


Рис. 28. Самодельная катушка индуктивности (*а*), ферритовый стержень (*б*), точечный диод (*в*), конденсаторы (*г*) и головные телефоны (*д*), необходимые для опытного приемника

Для катушки потребуется обмоточный провод марки ПЭВ-1 (Провод с Эмалевой Высокопрочной изоляцией в один слой), ПЭВ-2 (то же, но с изоляцией в два слоя) или ПЭЛ (Провод с Эмалевой Лакостойкой изоляцией) диаметром 0,15...0,2 мм. Обмоточные провода этих марок и их диаметр обозначают так: ПЭВ-1 0,15, ПЭВ-2 0,18, ПЭЛ 0,2. Годятся обмоточные провода и других марок, например ПБД — с изоляцией из двух (буква Д) слоев хлопчатобумажной пряжи (буква Б), или ПЭЛШО — с эмалевой лакостойкой изоляцией и одним (буква О) слоем натурального шелка (буква Ш). Важно лишь, чтобы изоляция провода была непопорченной, иначе между витками катушки может возникнуть замыкание, чего допускать нельзя.

Внутренний диаметр каркаса катушки, склеенный из писчей бумаги в 3—4 слоя, должен быть таким, чтобы в него с небольшим трением входил ферритовый стержень. В связи с этим условием советую тебе ферритовый стержень использовать в качестве болванки для заготовки каркаса катушки. Делай это так. Предварительно оберни стержень одним-двумя слоями тонкой бумаги, чтобы в дальнейшем к нему не приклеился каркас. Затем оберни стержень один раз полоской писчей бумаги шириной около 100 мм. Внутреннюю сторону оставшейся части бумаги намажь тонким и ровным слоем клея БФ-2 или «Момент», плотно закатай в нее стержень и, не снимая каркас со стержня, немного подсуши его. Когда каркас подсохнет, сними его со стержня, удали бумажную прослойку и досуши в теплом месте — готовый каркас должен быть жестким.

Прежде чем катушку наматывать, вставь в каркас ферритовый стержень. Провод сильно не натягивай, иначе каркас сожмется и из него будет трудно вытащить стержень. Всего на каркас надо намотать в один ряд 300 витков провода, делая через каждые 50 витков отводы в виде петель. Получится однослойная шестисекционная катушка индуктивности с двумя крайними выводами и пятью отводами. Чтобы крайние витки провода готовой катушки не спадали, закрепи их на каркасе колечками, нарезанными из резиновой или поливинилхлоридной трубки, или обмотай нитками. Дополнительно витки провода катушки можно скрепить тонким слоем клея БФ-2. Концы каркаса аккуратно подрежь острым ножом.

Бывает, что во время намотки катушки провод оборвется или одного отрезка провода не хватит на всю катушку. В таком случае концы провода, которые нужно соединить, должны быть очищены от изоляции, крепко скручены, пропаяны и обязательно обмотаны тонкой изоляционной лентой. Если соединение приходится возле отвода, то лучше не жалеть нескольких витков провода и сделать его в петле.

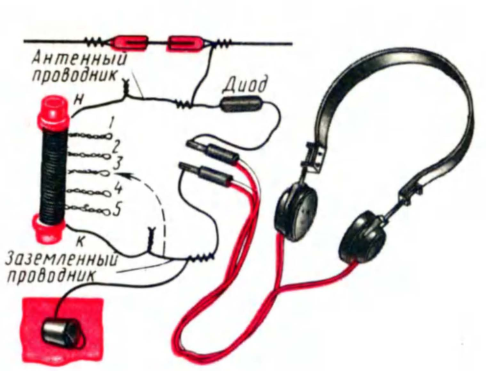


Рис. 29. Соединение деталей опытного приемника

Вот теперь, юный друг, приступай к сборке своего первого радиоприемника (рис. 29). Концы выводов и отводов катушки необходимо зачистить от изоляции, только осторожно, чтобы не порвать провод. Один из крайних выводов назовем началом катушки и обозначим буквой *н*. Соедини его с диодом. Второй крайний вывод катушки, ее конец *к*, соедини с одним из контактных штырьков шнура головных телефонов. Оставшиеся свободными вывод диода и штырек телефонов тоже соедини между собой. К проводнику, идущему от начала катушки к диоду, прочно прикрути провод антенны, предварительно зачистив его от изоляции. Этот проводник приемника будем называть антенным. К проводнику, соединяющему конец катушки с телефонами, прикрути провод заземления. Это будет заземленный проводник. Во время опытов его придется переключать с одного вывода катушки на другой (на рис. 29 показано штриховой линией со стрелкой), не изменяя при этом соединения заземления с телефонами.

Совершим «прогулку» по цепям получившегося проводника. От начала катушки *н* по антенному проводнику мы попадем к диоду, а от него — к головным телефонам. Через телефоны, далее по заземленному проводнику и через все витки катушки приходим к отправной точке *н*. Получилась замкнутая электрическая цепь, состоящая из катушки, диода и телефонов. Ее называют детекторной. Если в этой цепи где-либо окажется обрыв, плохой контакт между деталями или соединительными проводниками, например непрочная скрутка, приемник, естественно, работать не будет.

Кратчайший путь из антенны в землю — через катушку. По этому пути пойдет ток высокой частоты, возбуждаемый в антенне радиоволнами. Этот ток создаст на концах катушки высокочастотное напряжение, которое вызовет ток такой же частоты по всей детекторной цепи.

Цепь, состоящую из антенны, катушки и заземления, называют антенной или антенным контуром. Обрати внимание: контурная катушка приемника входит как в антенную, так и в детекторную цепи.

После такой прогулки по цепям приемника можно перейти к его испытанию. Надень на голову телефоны, прижми их плотнее к ушам, прислушайся. Возможно, сразу ты ничего не услышишь даже при заведомо хороших антенне и заземлении, предварительно проверенных диоде и телефонах. Это потому, что приемник, видимо, не настроен на несущую частоту радиовещательной станции, сигналы которой хорошо слышны в вашем районе, или ты попал в перерыв передачи. Настраивать такой приемник можно изменением числа витков катушки, включаемых в антенный контур.

На рис. 29 в антенный контур включены все 300 витков катушки. Но если заземленный проводник отсоединить от конца катушки и присоединить, например, к отводу 5, то в контур будет включено уже не 300, а 250 витков. Если же этот проводник переключить на отвод 4, в контур будет включено 200 витков. При переключении его на отвод 3 в антенный контур будет включено 150 витков и т. д. При этом нижние секции окажутся не включенными в контур и в работе приемника участвовать не будут. Таким образом, переключением заземленного проводника ты можешь включать в контур разное число витков через 50 витков.

Запомни: чем больше длина волны радиовещательной станции, на которую можно настроить приемник, тем больше число витков катушки должно быть включено в антенный контур.

Твой опытный приемник можно настраивать на радиовещательные станции как СВ, так и ДВ диапазонов. Но, разумеется, передачи не всякой станции ты можешь принять. На слабые сигналы отдаленных станций детекторный приемник реагировать не сможет — мала чувствительность.

Теперь займись настройкой приемника путем присоединения заземленного проводника сначала к отводу 5, затем к отводу 4 и так до отвода 1. Одновременно следи, чтобы отводы катушки и соединительные проводники не соприкасались, а контакты в скрутках не нарушались. Иначе приемник совсем не будет работать или в телефонах будут слышны трески, шорохи, мешающие приему. Электрические контакты будут надежнее, если места соединений проводников и деталей пропаять.

Настроив приемник на одну станцию, запомни число витков, включенных в контур, при котором станция слышна с наибольшей громкостью. Потом попытайся «найти» таким же способом другую станцию.

Надеюсь, что ты добился некоторого успеха. Попробуй улучшить работу приемника. Не изменяя настройки приемника, присоедини параллельно телефонам (между его контактными штырьками) конденсатор. Емкость этого конденсатора, называемого в данном случае блокировочным, может быть от 1000 до 3000 пФ. При этом громкость звучания телефонов должна несколько увеличиться. А если радиовещательные станции находятся более чем в 150...200 км от того места, где ты живешь, блокировочный конденсатор включай в самом начале опыта.

Способ настройки приемника только скачкообразным изменением числа витков катушки очень прост. Но он не всегда позволяет настроить приемник точно на несущую частоту станции. Точной настройки можно добиться дополнительным способом, например ... с помощью гвоздя. Попробуй!

Настрой приемник уже знакомым тебе способом на волну радиостанции и введи внутрь каркаса катушки толстый гвоздь или подходящего диаметра железный стержень. Что получилось? Громкость приема немного возрастет или, наоборот, уменьшится. Вытащи гвоздь из катушки — громкость станет прежней. Теперь медленно вводи гвоздь в катушку и также медленно извлекай его из катушки — громкость работы приемника будет немного, но плавно изменяться. Опытным путем можно найти такое положение металлического предмета в катушке, при котором громкость звучания будет наилучшей.

Этот опыт позволяет сделать вывод, что металлический стержень, помещенный в катушку, влияет на настройку контура. С таким способом настройки приемника, только, разумеется, с применением лучшего, чем гвоздь, ферромагнитного сердечника, ты познакомишься еще в этой беседе. А пока предлагаю следующий опыт: настроить приемник на сигналы радиовещательной станции с помощью конденсатора переменной емкости.

Для удобства проведения этого и нескольких последующих опытов с детекторным приемником, на фанерной дощечке размерами примерно 30 × 70 мм смонтируй колодку со штепсельными гнездами, два зажима, блокировочный конденсатор, соединив их под дощечкой, как показано на рис. 30. Колодку с гнездами устанавливай на дощечке так: просверли в ней два отверстия диаметром 6...8 мм с расстоянием 20 мм между центрами и вставь в них «хвосты» штепсельных гнезд. Колодку укрепи на дощечку шурупами или винтами с гайками. Начало катушки и антенну подключи к зажиму, с которым

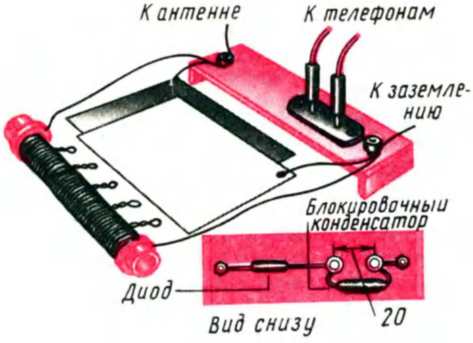


Рис. 30. Настройка приемника самодельным конденсатором переменной емкости

соединен диод, а ко второму зажиму, соединенному с гнездом телефонов, подключи конец катушки и заземление.

Конденсатор переменной емкости может быть как с воздушным, так и с твердым диэлектриком. Но функцию конденсатора переменной емкости могут выполнять две металлические пластины размерами примерно 150 × 150 мм, вырезанные, например, из жести больших консервных банок. К пластинам припаяй проводники длиной по 250...300 мм. С помощью этих проводников одну пластину соедини с зажимом антенны, а другую — с зажимом заземления. Положи пластины на стол одну возле другой, но так, чтобы они не соприкасались, и настрой приемник на радиостанцию только переключением секций катушки заземленным проводником. Теперь поднеси заземленную пластину к пластине, соединенной с антенной. Если громкость будет увеличиваться, сближай пластины и, наконец, положи одну пластину на другую, проложив между ними лист сухой бумаги (чтобы не было электрического контакта). Найди такое взаимное расположение пластин, при котором будет точная настройка. Если же при сближении пластин громкость будет уменьшаться, переключи заземленный проводник на ближней к началу катушки отвод и вновь сближай пластины, добиваясь наибольшей громкости.

В этом опыте настройка приемника на несущую частоту радиостанции осуществлялась двумя способами: грубо — изменением индуктивности катушки путем переключения ее секций, точно — изменением емкости пластинчатого конденсатора.

Запомни: индуктивность катушки и емкость конденсатора при настройке приемника на радиостанцию взаимосвязаны. Одну и ту же радиостанцию можно слущать при включении в антенный контур приемника большего числа витков, т. е. большей индуктивности катушки, но при меньшей емкости конденсатора либо, наоборот, при меньшей индуктивности катушки, но большей емкости конденсатора.

Теперь снова настрой приемник на какую-либо радиостанцию, запомни громкость приема передачи, а затем, не изменяя настройки, включи между антенной и антенным зажимом конденсатор емкостью 47...62 пФ (рис. 31). Что получилось? Громкость приема несколько уменьшилась. Произошло это потому, что конденсатор, включенный в цепь антенны, изменил параметры всего контура. Подстрой контур конденсатором переменной емкости до прежней громкости звучания телефонов. Если до включения в контур дополнительного конденсатора во время приема одной станции прослушивалась еще какая-то другая, близкая по частоте радиостанция, теперь она будет слышна много слабее, а возможно, и совсем не будет мешать. Приемник стал четче выделять сигналы той станции, на которую настроен, или, как говорят, улучшилась его селективность, т. е. избирательность.

Вместо конденсатора постоянной емкости включи между антенной и приемником конденсатор переменной емкости. С его помощью ты сможешь не только изменять селективность приемника, но, возможно, и настраивать его на разные станции.

Следующий опыт — настройка приемника ферритовым стержнем (рис. 32). Пластинчатый конденсатор удали, а вместо него между зажимами антенны и заземления, т. е. параллельно катушке, включи слюдяной или керамический конденсатор емкостью 120...150 пФ. Прижми телефоны поплотнее к ушам, сосредоточься и очень медленно вводи ферритовый стержень внутрь каркаса катушки. Постепенно углубляя стержень в катушку, ты должен услышать передачи всех тех радиовещательных станций, прием которых возможен в вашей местности

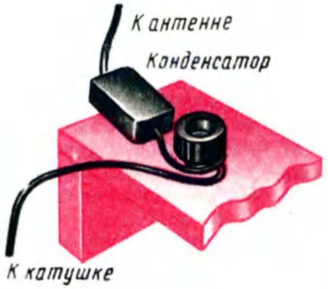


Рис. 31. Конденсатор, включенный в цепь антенны, улучшает селективность приемника

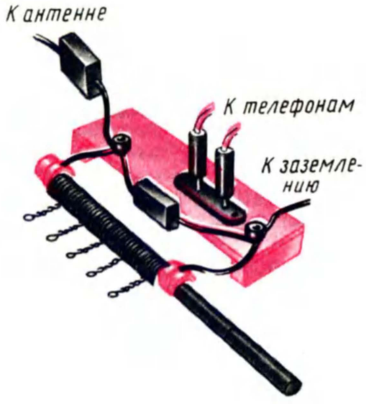


Рис. 32. Приемник с настройкой ферритовым стержнем

на детекторный приемник. Чем длиннее волна радиостанции, тем глубже должен быть введен стержень в катушку. Опытным путем найди такое положние стержня в катушке, при котором наиболее громко слышны сигналы станции, и сделай на стержне соответствующую пометку карандашом. Пользуясь ею как делениями шкалы, ты сможешь быстро настроить приемник на волну этой станции.

Продолжая опыт с использованием ферритового стержня, подключи параллельно катушке другой конденсатор емкостью 390...470 пФ. Как это повлияло на настройку приемника? Громкость осталась прежней, но для настройки на ту же станцию стержень приходится меньше вводить в катушку. Совсем удали конденсатор, оставив включенной только катушку. Что получилось? Чтобы настраивать приемник на ту же станцию, стержень надо глубже вводить в катушку.

Какие выводы можно сделать, проведя эксперименты с таким вариантом детекторного приемника? Основных два. Во-первых, ферритовый стержень значительно сильнее, чем металлический предмет, влияет на индуктивность катушки, а значит, и на настройку контура. Во-вторых, с помощью ферритового стержня можно плавно и точно настраивать контур приемника на желательную радиостанцию.

Еще один эксперимент. Антенну и заземление отключи от приемника, между ними включи диод, а параллельно — телефоны без блокировочного конденсатора. Вот и весь приемник. Работает? Тихо, вероятно? К тому же, возможно, одновременно слышны передачи двух-трех радиовещательных станций. От такого приемника ожидать лучшего не следует.

Ты, наверное, заметил, что когда дотрагиваешься рукой до деталей или соединительных проводников, громкость работы немного изменяется. Это объясняется расстройкой антенного контура, вносимой в него электрической емкостью твоего тела.

Может случиться, что у тебя не окажется ферритового стержня. В таком случае для приемника и настройки его используй так называемый вариометр, описанный в восьмой беседе (см. рис. 140).

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ТВОЕГО ПРИЕМНИКА

Чтобы правильно соединить детали приемника, ты пользовался рисунками. На них катушку, телефоны, диод-детектор и другие детали, приборы и соединения ты видел такими, какими они выглядят в натуре. Это очень удобно для начала, пока приходится иметь дело с совсем простыми радиотехническими конструкциями, состоящими из малого числа деталей. Но если попытаться изобразить таким способом устройство современного приемника, то получится такая «паутина» деталей и проводов, в которых невозможно разобраться. Чтобы этого избежать, любой электроприбор или радиоаппарат изображают схематически, т. е. с помощью упрощенного чертежа — схемы. Так делают не только в электро- и радиотехнике. Посмотри, например, на географическую карту. Судоходная могучая красавица Волга со всеми ее грандиозными сооружениями изображена на карте извивающейся змейкой. Такие крупные города, как Москва, Волгоград, Ташкент, Владивосток и другие, показаны на карте всего лишь кружками. Леса, равнины, горы, моря, каналы изображены на ней тоже упрощенно — схематически.

Различают три основных вида схем: структурные, принципиальные электрические и схемы электрических соединений.

Структурная схема представляет собой упрощенный чертеж, на котором группы деталей и приборов, выполняющие определенные функции радиотехнического устройства, изображают условно прямоугольниками или иными символами. Структурная схема дает лишь общее представление о работе этого устройства, о его структуре и связях между его функциональными группами. Примером структурной схемы может служить рис. 19, по которому я в предыдущей беседе рассказывал тебе о работе радиовещательной станции.

Можно ли таким способом изобразить устройство детекторного приемника? Конечно, можно. Нарисуй в один ряд четыре прямоугольника и соедини их между собой линиями со стрелками, идущими слева направо. В крайний левый прямоугольник впиши слово «Антенна», в следующий за ним прямоугольник — «Колебательный контур», в третий прямоугольник — «Детектор», в четвертый — «Телефоны». Получится структурная схема детекторного приемника. «Прочитать» ее можно так: модулированные колебания радиочастоты, возбужденные в антенне, поступают в колебательный контур приемника, а затем к детектору; детектор выделяет из принятого сигнала колебания звуковой частоты, которые телефоны преобразуют в звук.

Принципиальную электрическую схему чаще называют принципиальной или просто схемой. На ней все детали радиотехнического устройства и порядок их соединения изображают условными знаками, символизирующими эти детали, линиями. «Читая» принципиальную схему как географическую карту или чертеж какого-то механизма, нетрудно разобраться в цепях и принципе работы устройства. Но она не дает представления о размерах устройства и размещении его деталей на монтажных платах.

Схема соединений, в отличие от принципиальной, информирует, как расположены в конструкции и соединены между собой детали устройства. Собирая приемник, усилитель или любой другой радиоаппарат, радиолюбитель располагает детали и проводники примерно так, как показано на рекомендованной схеме соединений. Но монтаж и все соединения деталей проверяют по принципиальной схеме устройства.

Уметь грамотно чертить и читать радиосхемы — совершенно обязательное условие для каждого, кто хочет стать радиолюбителем.

На рис. 33 ты видишь уже знакомые тебе детали и устройства и некоторые другие, с которыми придется иметь дело в дальнейшем. А рядом в кружках — их условные графические обозначения на принципиальных схемах. Любую катушку индуктивности без сердечника независимо от ее конструкции и числа витков на принципиальной схеме изображают в виде волнистой линии. Отводы катушек показывают черточками. Если катушка имеет неподвижный ферромагнитный сердечник (ферритовый стержень), увеличивающий ее индуктивность, его обозначают прямой линией вдоль изображения катушки. Если таким сердечником настраивают контур приемника, как это было в опытном приемнике, его на схеме обозначают тоже прямой, но вместе с катушкой пересекают стрелкой. Подстроечный ферромагнитный сердечник катушки обозначают короткой жирной чертой, пересекающейся Т-образным символом.

Любой конденсатор постоянной емкости изображают двумя короткими параллельными линиями, символизирующими две изолированные одна от другой пластины. Если конденсатор оксидный (о таких конденсаторах поговорим позже), его положительную обкладку обозначают дополнительным знаком «+». Конденсаторы переменной емкости изображают так же, как конденсаторы постоянной емкости, но пересеченными наискось стрелкой, символизирующей переменность емкости этого прибора. Гнезда для подключения провода антенны, головных телефонов или каких-то других устройств либо деталей обозначают значками в виде вилки, а зажимы кружками.

Новым для тебя является переключатель. Вместо того, чтобы при настройке приемника раскручивать и скручивать проводники, как ты это делал во время опытов с детекторным приемником, выводы и отводы катушки можно переключать простейшим ползунковым, движковым или иной конструкции переключателем.

Проводники, которыми соединяют детали, обозначают прямыми линиями. Если линии сходятся и в месте их пересечения стоит точка, значит, проводники соединены. Отсутствие точки в месте пересечения проводников говорит о том, что они не должны соединяться.

На принципиальных схемах рядом с условными обозначениями радиодеталей, приборов, коммутационных и других устройств пишут присвоенные им латинские буквы. Например, всем конденсаторам независимо от их конструктивных особенностей и применения присвоена буква C, резисторам — буква R, катушкам — буква L, полупроводниковым диодам — буквы VD, транзисторам — буквы VT, антеннам — буква W, гнездам и другим соединительным устройствам — буква X, головным телефонам, головкам громкоговорителей, микрофонам и другим преобразователям электрических или звуковых колебаний — соответственно буквы BF, BA, BM, батареям гальванических элементов или аккумуляторов — буквы GB, лампам накаливания — буква H и т. д. Кроме того, на схемах детали нумеруют, т. е. рядом с буквой присвоенной детали пишут цифру, например C1, L1, L2, R1, VT1 и т. д. Для упрощения принципиальных схем на них иногда не показывают антенну, головные телефоны, ограничиваясь только обозначениями гнезд или зажимов для их подключения, но тогда возле них пишут соответствующие буквы с цифрами: W1, BF1. Должен тебя предупредить: здесь и далее в этой книге буквенно-цифровые обозначения радиодеталей упрощены. В специальной же технической литературе, в журналах «Радио», «Моделист-конструктор» и других изданиях используется в основном более сложная система буквенно-цифрового позиционного обозначения

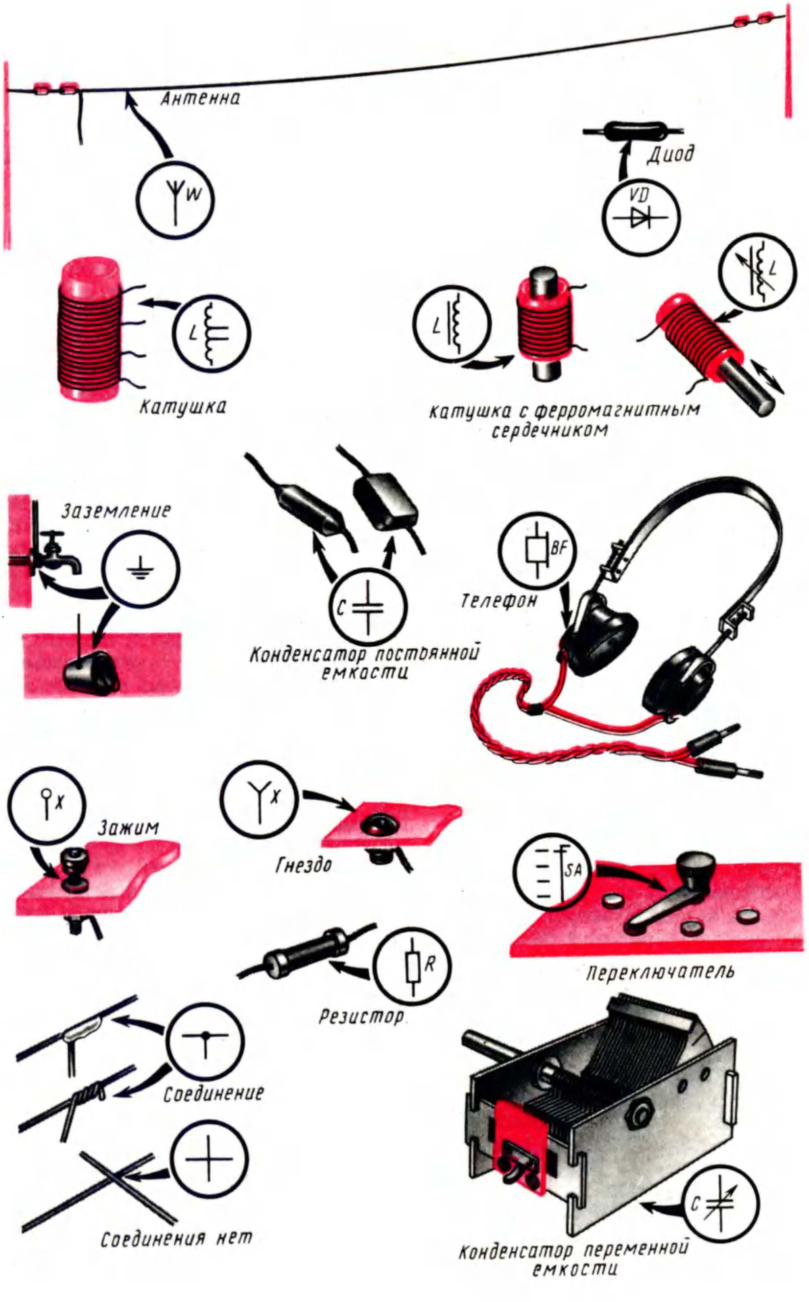

Антенна
W
Диод
VD
L
Катушка
L
L
Катушка с ферромагнитным сердечником
Заземление
C
Конденсатор постоянной емкости
BF
Телефон
X
Зажим
X
Гнездо
SA
Переключатель
R
Резистор
Соединение
Соединения нет
C
Конденсатор переменной емкости

Рис. 33. Условные графические обозначения некоторых радиотехнических деталей, приборов и устройств на принципиальных схемах

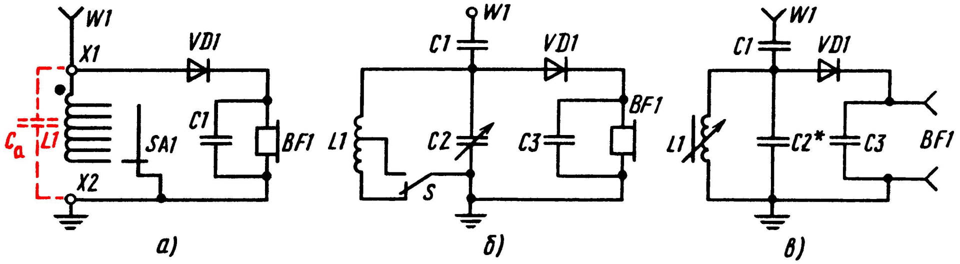


Рис. 34. Принципиальные схемы вариантов опытного приемника с настройкой переключением отводов катушки (*а*), конденсатором переменной емкости (*б*), ферритовым стержнем (*в*)

элементов и устройств. Подробно об этой системе, наиболее характерной для аппаратуры промышленного изготовления, говорится в приложении 2 в конце книги.

Вот теперь, зная условные позиционные обозначения деталей, детекторные приемники, с которыми ты экспериментировал, можно изобразить принципиальными схемами.

Принципиальная схема первого варианта опытного приемника показана на рис. 34,*а*. Его ты настраивал изменением числа секций катушки, входящих в контур, путем переключения заземленного проводника. Поэтому в схему введен переключатель SA1. Вспомни нашу прогулку по цепям приемника и соверши ее еще раз, но уже по принципиальной схеме. От начала катушки L1, обозначенной на схеме черной точкой, ты попадешь к диоду VD1 и через него — к телефонам BF1, далее через телефоны по заземленному проводнику, переключатель SA1 и витки катушки L1 — к исходной точке. Это — детекторная цепь. Для токов высокой частоты путь из антенны в землю идет через секции катушки и переключатель. Это — антенный контур. Приемник настраивается на радиостанцию скачкообразным изменением числа витков, включаемых в контур. Параллельно телефонам подключен блокировочный конденсатор C1.

На схеме штриховыми линиями показан конденсатор $C_{\text{а}}$. В приемнике такой детали не было. Но символизирующая его электрическая емкость присутствовала — она образовывалась антенной и заземлением и как бы подключалась к настраиваемому контуру.

Принципиальная схема одного из последующих вариантов опытного приемника показана на рис. 34,*б*. Его входной настраиваемый контур состоит из катушки L1, имеющей один отвод, введенного тобой конденсатора переменной емкости C2, антенного устройства и антенного конденсатора C1. Включение в контур только верхней (по схеме) секции катушки соответствует приему радиостанций СВ диапазона, включение обеих секций — приему радиостанций ДВ диапазона. Таким образом, в приемнике переход с одного диапазона на другой осуществляется переключателем SA1, а плавная настройка в каждом диапазоне — конденсатором переменной емкости C2.

Последним вариантом был приемник, настраиваемый ферритовым стержнем. Его принципиальную схему ты видишь на рис. 34,*в*. Колебательный контур образуют катушка L1 и конденсатор постоянной емкости C2. Катушка не имеет отводов, значит, приемник однодиапазонный. Для приема радиостанций другого диапазона в контур надо включить катушку, рассчитанную на прием станций этого диапазона. Для подключения головных телефонов предусмотрены гнезда BF1.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИЕМНИКА

В принципе детекторный приемник утратил былое практическое значение. Сегодня им уже никого не удивишь. Таково веление времени. Но для тебя, как и для всех начинающих любителей, он ценен как учебное пособие по основам радиотехники, на котором, кроме того, можно освоить и некоторые навыки радиомонтажных работ. Поэтому, полагаю, тебе будет полезно довести приемник до простой законченной конструкции.

Возможная конструкция приемника первого варианта (по схеме рис. 34,*а*) показана на рис. 35. Диод VD1, выполняющий функцию детектора, может быть любым из серий Д2, Д9. Емкость конденсатора C1, блокирующего телефоны BF1, может быть от 2200 до 6800 пФ. Переключатель SA1 — самодельный ползункового типа (см. беседу «Радиолюбительская мастерская»).

Приемник монтируй на фанерной панели размерами примерно 60 × 100 мм. Снизу по

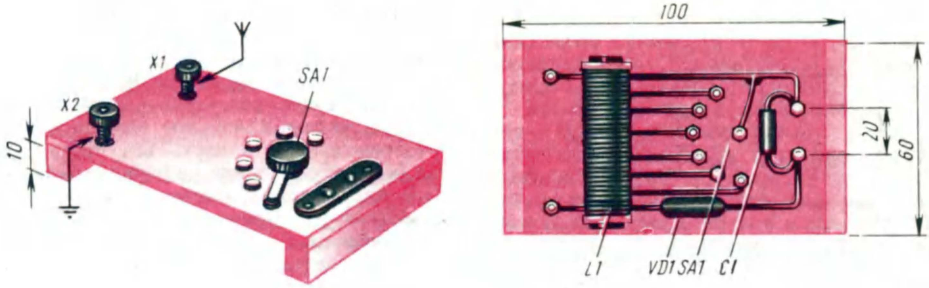


Рис. 35. Приемник с настройкой переключением секций контурной катушки

краям прибей бруски высотой по 10...15 мм, которые будут служить стойками. Сверху на панели будут переключатель, двухгнездная колодка для включения телефонов, зажимы антенны и заземления, под панелью — диод VD1, блокировочный конденсатор C1 и контурная катушка L1. Отводы и выводы катушки соединены с контактами переключателя и зажимом антенны.

Закончив монтаж, проверь прочность всех соединений и их правильность по принципиальной схеме, включи телефоны, присоедини антенну и заземление и приступай к испытанию приемника. Может случиться, что наиболее длинноволновая радиостанция будет слышна слабо даже тогда, когда в контур включены все секции катушки. В таком случае между зажимами антенны и заземления придется включить дополнительный конденсатор емкостью 100...270 пФ. А если одновременно прослушиваются передачи двух радиостанций, то для улучшения селективности приемника в цепь антенны включи конденсатор емкостью 47...62 пФ.

В конструкции, показанной на рис. 36, ты должен узнать третий вариант опытного приемника — с настройкой ферритовым стержнем (по схеме на рис. 34, *в*). Только тогда контурная катушка находилась на столе и ты подключал ее выводами к детекторной приставке, здесь же она концами каркаса вклеена в отверстия стоек аналогичной приставки. Приемник настраивается только ферритовым стержнем. На стержне сделаны метки, соответствующие его положению в каркасе катушки при настройке на разные станции.

Если в вашей местности хорошо слышны передачи радиостанций в основном только ДВ диапазона, в приемнике используй опытную катушку. Если же лучше слышны радиостанции СВ диапазона, тогда надо сделать другую катушку, рассчитанную на прием станций этого диапазона.

Конструкция катушки СВ диапазона такая же. Длина ее каркаса, также склеенного на ферритовом стержне, может быть 80...90 мм. Катушка должна содержать 80—90 витков провода ПЭВ-1 или ПЭВ-2 диаметром 0,2...0,3 мм, но уложенных на каркас вразрядку (с небольшим расстоянием между витками) с таким расчетом, чтобы общая длина намотки составила 60...70 мм. При такой намотке можно точнее настраивать контур на волну радиостанции, особенно работающую в наиболее коротковолновом участке этого диапазона. В этом ты еще убедишься.

Диод VD1, как и в предыдущем приемнике, серии Д9 или Д2 с любым буквенным индексом. Емкость конденсатора C1 может быть 47...62 пФ, конденсатора C3 — 2200...6800 пФ. Конденсатор C2 подбери опытным путем (на схеме рис. 34, *в* отмечен звездочкой); его емкость (от 100 до 470 пФ) должна быть такой, чтобы наиболее длинноволновая радиостанция принималась при почти полностью введенном внутрь каркаса ферритовом стержне. Как пользоваться таким приемником, ты уже знаешь.

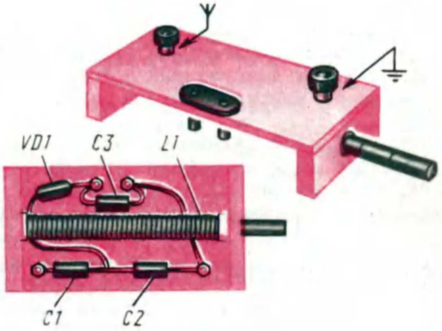


Рис. 36. Приемник с настройкой ферритовым стержнем

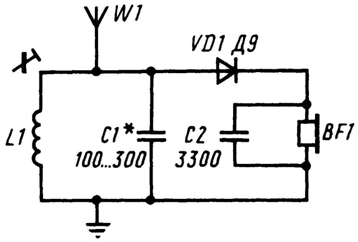


Рис. 37. Принципиальная схема детекторного приемника с фиксированной настройкой на одну радиостанцию

Если в вашей местности хорошо слышны передачи всего лишь одной радиостанции, скажем только местной, ты можешь сделать более простой детекторный приемник — с фиксированной настройкой, например, по схеме, показанной на рис. 37. Такой приемник не имеет ручек настройки. Его один раз настраивают на выбранную станцию, и он всегда готов для приема этой станции.

Настроить приемник на местную станцию можно ферритовым подстроечным сердечником катушки L1 (на схеме подстроечник символизирует короткая жирная черточка, пересекающаяся «молоточком») и подбором конденсатора C1 емкостью от 100 до 300 пФ. Можно использовать уже имеющуюся у тебя катушку с ферритовым стержнем, который будет выполнять функцию подстроечного сердечника. Но, разумеется, можно намотать новую, более короткую катушку, а в качестве подстроечника использовать отрезок ферритового стержня по длине каркаса катушки. Сердечник укрепи на панели приемника неподвижно, а настраивать контур на волну радиостанции будешь перемещением катушки вдоль сердечника. Настроив таким способом контур, закрепи каркас катушки на сердечнике каплей клея.

Пользуясь таким приемником, помни, что в его контур входят емкость и индуктивность антенны. Поэтому при подключении к нему другой антенны контур придется снова подстраивать.

Вот теперь, когда закончены эксперименты с простейшим радиоприемным устройством, настало время поговорить о самой сущности работы деталей, узлов и приемника в целом.

КАК ПРИЕМНИК РАБОТАЕТ?

Твой первый приемник состоит из трех основных элементов, обеспечивающих ему работоспособность. Эти элементы — колебательный контур, детектор и телефоны. Колебательный контур, в который входила антенна с заземлением, обеспечивал приемнику настройку на волну радиостанции, детектор преобразовывал модулированные колебания радиочастоты в колебания звуковой частоты, которые телефоны преобразовывали в звук. Без этих элементов или без любого из них радиоприем невозможен.

В чем сущность действия этих обязательных элементов радиоприемного устройства?

Колебательный контур. Простейший колебательный контур (рис. 38) состоит из катушки L и конденсатора C, образующих замкнутую электрическую цепь. При некоторых условиях в контуре могут возникать и существовать электрические колебания. Поэтому его и называют *колебательным контуром.*

Приходилось ли тебе наблюдать такое явление: в момент выключения питания электроосветительной лампы между размыкающимися контактами выключателя появляется искра. Если случайно соединить выводы полюсов батареи электрического карманного фонарика (чего нужно избегать), в момент их разъединения между ними также проскакивает маленькая искра. А на заводах, в цехах фабрик, где рубильниками разрывают электрические цепи, по которым текут токи большой силы, искры могут быть столь значительными, что приходится принимать меры, чтобы они не причинили вреда человеку, включающему ток. Почему возникают эти искры?

Из первой беседы ты уже знаешь, что вокруг проводника с током существует магнитное поле, которое можно изобразить в виде замкнутых магнитных силовых линий, пронизывающих окружающее его пространство. Обнаружить это поле, если оно постоянное, можно с помощью магнитной стрелки компаса. Если отключить проводник от источника тока, то его исчезающее магнитное поле, рассеиваясь в пространстве, будет индуцировать токи в ближайших от него других проводниках. Ток индуцируется и в том проводнике, который создал это магнитное поле. А так как он находится в самой гуще своих же магнитных силовых линий, в нем будет индуцироваться более сильный ток, чем в любом другом проводнике. Направление этого тока будет таким же, каким оно было в момент разрыва проводника. Иначе говоря, исчезающее

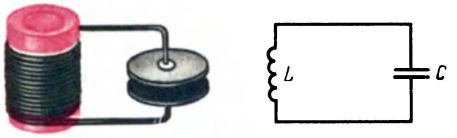


Рис. 38. Простейший электрический колебательный контур

магнитное поле будет поддерживать создающий его ток до тех пор, пока оно само не исчезнет, т. е. полностью не израсходуется содержащаяся в нем энергия. Следовательно, ток в проводнике течет и после того, как выключен источник тока, но, разумеется, недолго — ничтожно малую долю секунды.

Но ведь в разомкнутой цепи движение электронов невозможно, возразишь ты. Да, это так. Но после размыкания цепи электрический ток может некоторое время течь через воздушный промежуток между разъединенными концами проводника, между контактами выключателя или рубильника. Вот этот ток через воздух и образует электрическую искру.

Это явление называют самоиндукцией, а электрическую силу (не путай с явлением индукции, знакомым тебе по первой беседе), которая под действием исчезающего магнитного поля поддерживает в нем ток, — электродвижущей силой самоиндукции или сокращенно ЭДС самоиндукции. Чем больше ЭДС самоиндукции, тем значительнее может быть искра в месте разрыва электрической цепи.

Явление самоиндукции наблюдается не только при выключении, но и при включении тока. В пространстве, окружающем проводник, магнитное поле возникает сразу при включении тока. Вначале оно слабое, но затем очень быстро усиливается. Усиливающееся магнитное поле тока также возбуждает ток самоиндукции, но этот ток направлен навстречу основному току. Ток самоиндукции мешает мгновенному увеличению основного тока и росту магнитного поля. Однако через короткий промежуток времени основной ток в проводнике преодолевает встречный ток самоиндукции и достигает наибольшего значения, магнитное поле становится постоянным, и действие самоиндукции прекращается.

Явление самоиндукции можно сравнивать с явлением инерции. Санки, например, трудно сдвинуть с места. Но когда они наберут скорость, запасутся кинетической энергией — энергией движения, их невозможно остановить мгновенно. При торможении санки продолжают скользить до тех пор, пока запасенная ими энергия движения не израсходуется на преодоление трения о снег.

Все ли проводники обладают одинаковой самоиндукцией? Нет! Чем длиннее проводник, тем значительнее самоиндукция. В проводнике, свернутом в катушку, явление самоиндукции сказывается сильнее, чем в прямолинейном проводнике, так как магнитное поле каждого витка катушки наводит ток не только в этом витке, но и в соседних витках этой катушки. Чем больше длина провода в катушке, тем дольше будет существовать в нем ток самоиндукции после выключения основного тока. И наоборот, потребуется больше времени после включения основного тока, чтобы ток в цепи увеличился до определенного значения и установилось постоянное по силе магнитного поле.

Запомни: свойство проводников влиять на ток в цепи при изменении его значения называют индуктивностью, а катушки, в которых наиболее сильно проявляется это свойство, — катушками самоиндукции или индуктивности. Чем больше число витков и размеры катушки, тем больше ее индуктивность, тем значительнее влияет она на ток в электрической цепи.

Итак, катушка индуктивности препятствует как нарастанию, так и убыванию тока в электрической цепи. Если она находится в цепи постоянного тока, влияние ее сказывается только при включении и выключении тока. В цепи же переменного тока, где беспрерывно изменяются ток и его магнитное поле, ЭДС самоиндукции катушки действует все время, пока течет ток. Это электрическое явление и используется в первом элементе колебательного контура приемника — катушке индуктивности.

Вторым элементом колебательного контура приемника является «накопитель» электрических зарядов — конденсатор. Простейший конденсатор представляет собой два проводника электрического тока, например две металлические пластины, называемые обкладками конденсатора, разделенные диэлектриком, например воздухом или бумагой. Таким конденсатором ты уже пользовался во время опытов с простейшим приемником. Чем больше площадь обкладок и чем ближе они расположены друг к другу, тем больше электрическая емкость конденсатора.

Если к обкладкам конденсатора подключить источник постоянного тока (рис. 39, *а*), то в образовавшейся цепи возникнет кратковременный ток и конденсатор зарядится до напряжения, равного напряжению источника тока.

Ты можешь спросить: почему в цепи, где есть диэлектрик, возникает ток? Когда мы присоединяем к конденсатору источник постоянного тока, свободные электроны в проводниках образовавшейся цепи начинают двигаться в сторону положительного полюса источника тока, образуя кратковременный поток электронов во всей цепи. В результате обкладка конденсатора, которая соединена с положительным полюсом источника тока, обедняется свободными электронами и заряжается положительно, а другая обкладка обогащается свободными электронами и, следовательно, заряжается отрицательно. Как только конденсатор зарядится, кратковременный ток в цепи, называемый током зарядки конденсатора, прекратится.

Если источник тока отключить от конденсатора, то конденсатор окажется заряженным (рис. 39, *б*). Переходу избыточных электронов

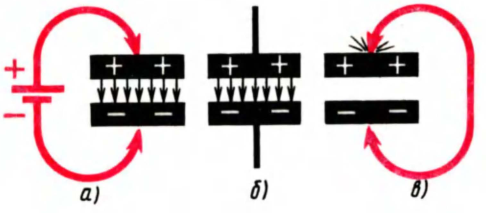


Рис. 39. Зарядка и разрядка конденсатора

с одной обкладки на другую препятствует диэлектрик. Между обкладками конденсатора тока не будет, а накопленная им электрическая энергия будет сосредоточена в электрическом поле диэлектрика. Но стоит обкладки заряженного конденсатора соединить каким-либо проводником (рис. 39, *в*), «лишние» электроны отрицательно заряженной обкладки перейдут по этому проводнику на другую обкладку, где их недостает, и конденсатор разрядится. В этом случае в образовавшейся цепи также возникает кратковременный ток, называемый током разрядки конденсатора. Если емкость конденсатора большая и он заряжен до значительного напряжения, момент его разрядки сопровождается появлением значительной искры и треска.

Свойство конденсатора накапливать электрические заряды и разряжаться через подключенные к нему проводники используется в колебательном контуре радиоприемника.

А теперь, юный друг, вспомни обыкновенные качели. На них можно раскачиваться так, что «дух захватывает». Что для этого надо сделать? Сначала подтолкнуть, чтобы вывести качели из положения покоя, а затем прикладывать некоторую силу, но обязательно только в такт с их колебаниями. Без особого труда можно добиться сильных размахов качелей — получить большие амплитуды колебаний. Даже маленький мальчик может раскачать на качелях взрослого человека, если будет прикладывать свою силу умеючи. Раскачав качели посильнее, чтобы добиться больших амплитуд колебаний, перестанем подталкивать их. Что произойдет дальше? За счет запасенной энергии они некоторое время свободно качаются, амплитуда их колебаний постепенно убывает, как говорят, колебания затухают, и, наконец, качели остановятся.

При свободных колебаниях качелей, как и свободно подвешенного маятника, запасенная — потенциальная — энергия переходит в кинетическую — энергию движения, которая в крайней верхней точке вновь переходит в потенциальную, а через долю секунды — опять в кинетическую. И так до тех пор, пока не израсходуется весь запас энергии на преодоление трения веревок в местах подвеса качелей и сопротивления воздуха. При сколь угодно большом запасе энергии свободные колебания всегда являются затухающими: с каждым колебанием их амплитуда уменьшается и колебания постепенно совсем затухают — качели останавливаются. Но период, т. е. время, в течение которого происходит одно колебание, а значит, и частота колебаний, остаются постоянными.

Однако, если качели все время подталкивать в такт с их колебаниями и тем самым пополнять потери энергии, расходуемой на преодоление различных тормозящих сил, колебания станут незатухающими. Это уже не свободные, а вынужденные колебания. Они будут длиться до тех пор, пока не перестанет действовать внешняя подталкивающая сила.

Я вспомнил здесь о качелях потому, что физические явления, происходящие в такой механической колебательной системе, очень схожи с явлениями в электрическом колебательном контуре. Чтобы в контуре возникли электрические колебания, ему надо сообщить энергию, которая «подтолкнула» бы в нем электроны. Это можно сделать, зарядив, например, его конденсатор.

Разорвем выключателем SA колебательный контур и подключим к обкладкам его конденсатора источник постоянного тока, как показано на рис. 40 слева. Конденсатор зарядится до напряжения батареи GB. Затем отключим батарею от конденсатора, а контур замкнем выключателем SA. Явления, которые теперь будут происходить в контуре, изображены графически на рис. 40 справа.

В момент замыкания контура выключателем верхняя обкладка конденсатора имеет положительный заряд, а нижняя — отрицательный (рис. 40, *а*). В это время (точка 0 на графике) тока в контуре нет, а вся энергия, накопленная конденсатором, сосредоточена в электрическом поле его диэлектрика. При замыкании конденсатора на катушку конденсатор начнет разряжаться. В катушке появляется ток, а вокруг ее витков — магнитное поле. К моменту полной разрядки конденсатора (рис. 40, *б*), отмеченному на графике цифрой 1, когда напряжение на его обкладках уменьшится до нуля, ток в катушке и энергия магнитного поля достигнут наибольших значений. Казалось бы, в этот момент ток в контуре должен был прекратиться. Этого, однако, не произойдет, так как от действия ЭДС самоиндукции, стремящейся поддержать ток, движение электронов в контуре будет продолжаться. Но только до тех пор, пока не израсходуется вся энергия магнитного поля. В катушке в это время будет течь убывающий по значению, но первоначального направления индуцированный ток.

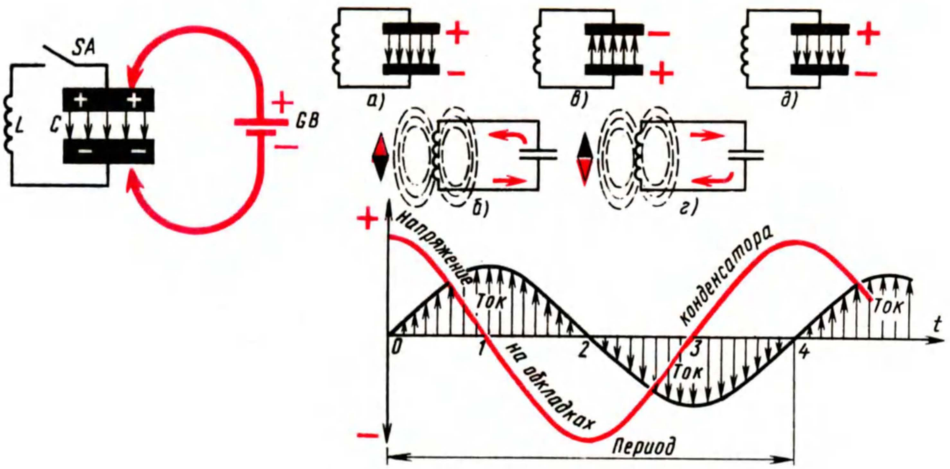


Рис. 40. Электрические колебания в контуре

К моменту, отмеченному на графике цифрой 2, когда энергия магнитного поля израсходуется, конденсатор вновь окажется заряженным, только теперь на его нижней обкладке будет положительный заряд, а на верхней — отрицательный (рис. 40, *в*). Теперь электроны начнут обратное движение — в направлении от верхней обкладки через катушку к нижней обкладке конденсатора. К моменту 3 (рис. 40, *г*) конденсатор разрядится, а магнитное поле катушки достигнет наибольшего значения. И опять ЭДС самоиндукции «погонит» по проводу катушки электроны, перезаряжая тем самым конденсатор.

В момент времени 4 (рис. 40, *д*) состояние электронов в контуре будет таким же, как в первоначальный момент 0. Закончилось одно полное колебание. Естественно, что заряженный конденсатор вновь будет разряжаться на катушку, перезаряжаться и произойдут второе, за ним третье, четвертое и т. д. колебания. Другими словами, в контуре возникнет переменный электрический ток, электрические колебания. Но этот колебательный процесс в контуре не бесконечен. Он продолжается до тех пор, пока вся энергия, полученная конденсатором от батареи, не израсходуется на преодоление сопротивления провода катушки контура. Колебания в контуре свободные и, следовательно, затухающие.

Какова частота таких колебаний электронов в контуре? Чтобы подробнее разобраться в этом вопросе, советую провести такой опыт с простейшим маятником. Подвесь на нитке длиной 100 см шарик, слепленный из пластилина, или иной груз массой в 20...40 г (на рис. 41 длина маятника обозначена латинской буквой *L*). Выведи маятник из положения равновесия и, пользуясь часами с секундной стрелкой, сосчитай, сколько полных колебаний он делает за 1 мин. Примерно 30. Следовательно, частота колебаний этого маятника равна 0,5 Гц, а период 2 с. За период потенциальная энергия маятника дважды переходит в кинетическую, а кинетическая в потенциальную. Укороти нить наполовину. Частота маятника увеличится примерно в 1,5 раза и во столько же раз уменьшится период колебаний.

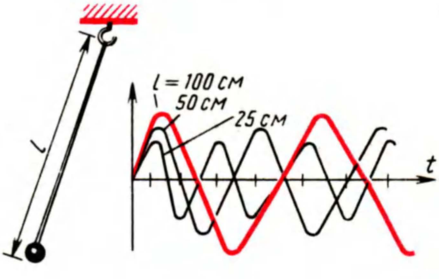


Рис. 41. Графики колебаний простейшего маятника

Этот опыт позволяет сделать вывод: с уменьшением длины маятника частота его собственных колебаний увеличивается, а период пропорционально уменьшается.

Изменяя длину подвески маятника, добейся, чтобы его частота колебаний равнялась 1 Гц. Это должно быть при длине нити около 25 см. При этом период колебаний маятника будет равен 1 с. Каким бы ты не пытался создать первоначальный размах маятника, частота его колебаний будет неизменной. Но стоит только укоротить или удлинить нитку, как частота колебаний сразу изменится. При одной и той же длине нитки всегда будет одна и та же частота колебаний. Это собственная частота колебаний маятника. Получить заданную частоту колебаний можно, подбирая длину нити.

Колебания нитяного маятника — затухающие. Они могут стать незатухающими только в том случае, если маятник в такт с его колебаниями слегка подталкивать, компенсируя таким образом ту энергию, которую он затрачивает на преодоление сопротивления, оказываемого ему воздухом, энергию трения и земное притяжение.

Собственная частота характерна и для электрического колебательного контура. Она зависит, во-первых, от индуктивности катушки. Чем больше число витков и диаметр катушки, тем больше ее индуктивность, тем больше будет длительность периода каждого колебания. Собственная частота колебаний в контуре будет соответственно меньше. И, наоборот, с уменьшением индуктивности катушки сократится период колебаний — возрастет собственная частота колебаний в контуре. Во-вторых, собственная частота колебаний в контуре зависит от емкости его конденсатора. Чем емкость больше, тем больший заряд может накопить конденсатор, тем больше потребуется времени для его перезарядки, тем меньше частота колебаний в контуре. С уменьшением емкости конденсатора частота колебаний в контуре возрастает. Таким образом, собственную частоту затухающих колебаний в контуре можно регулировать изменением индуктивности катушки или емкости конденсатора.

Но в электрическом контуре, как и в механической колебательной системе, можно получить и незатухающие, т. е. вынужденные колебания, если при каждом колебании пополнять контур дополнительными порциями электрической энергии от какого-либо источника переменного тока.

Каким же образом в контуре приемника возбуждаются и поддерживаются незатухающие электрические колебания? Колебания радиочастоты, возбуждающиеся в антенне приемника, сообщают контуру первоначальный заряд, они же и поддерживают ритмичные колебания электронов в контуре. Но наиболее сильные незатухающие колебания в контуре приемника возникают только в момент резонанса собственной частоты контура с частотой тока в антенне. Как это понимать?

Люди старшего поколения рассказывают, будто в Петербурге от шедших в ногу солдат обвалился Египетский мост. А могло это случиться, видимо, при таких обстоятельствах. Все солдаты ритмично шагали по мосту. Мост от этого стал раскачиваться — колебаться. По случайному стечению обстоятельств собственная частота колебаний моста совпала с частотой шага солдат, и мост, как говорят, вошел в резонанс. Ритм строя сообщал мосту все новые и новые порции энергии. В результате мост настолько раскачался, что обрушился: слаженность воинского строя нанесла вред мосту. Если бы резонанса собственной частоты колебаний моста с частотой шага солдат не было, с мостом ничего бы не случилось. Поэтому, между прочим, при прохождении солдат по слабым мостам принято подавать команду «сбить ногу».

А вот опыт. Подойти к какому-нибудь струнному музыкальному иснтрументу и громко крикни «а»: какая-то из струн отзовется — зазвучит. Та из них, которая окажется в резонансе с частотой этого звука, будет колебаться сильнее остальных струн — она-то и отзовется на звук.

Еще один опыт — с маятником. Натяни горизонтально нетолстую веревку. Привяжи к ней тот же маятник из нити и пластилина (рис. 42). Перекинь через веревку еще один такой же маятник, но с более длинной ниткой. Длину подвески этого маятника можно изменять, подтягивая рукой свободный конец нитки. Приведи маятник в колебательное движение. При этом первый маятник тоже станет колебаться, но с меньшей амплитудой. Не останавливая колебаний второго маятника, постепенно уменьшай длину его подвески — амплитуда колебаний первого маятника будет увеличиваться. В этом опыте, иллюстрирующем резонанс механических колебаний, первый маятник является приемником колебаний, возбуждаемых вторым маятником. Причиной, вынуждающей первый маятник колебаться, являются периодические колебания растяжки с частотой, равной частоте колебаний второго маятника. Вынужденные колебания первого маятника будут иметь максимальную амплитуду лишь тогда, когда его

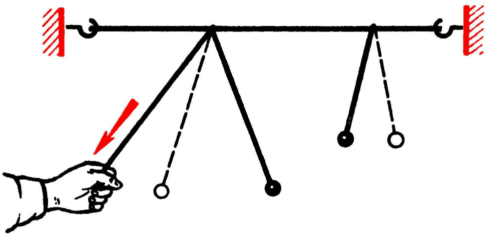


Рис. 42. Опыт, иллюстрирующий явление резонанса

собственная частота совпадает с частотой колебаний второго.

Такие или подобные явления, только, разумеется, электрического происхождения, наблюдаются и в колебательном контуре приемника. От действия волн многих радиостанций в приемной антенне возбуждаются токи самых разных частот. Нам же из всех колебаний радиочастот надо выбрать только несущую частоту той радиостанции, передачи которой мы хотим слушать. Для этого следует так подобрать число витков катушки и емкость конденсатора колебательного контура, чтобы его собственная частота совпадала с частотой тока, создаваемого в антенне радиоволнами интересующей нас станции. В этом случае в контуре возникнут наиболее сильные колебания с несущей частотой той радиостанции, на волну которой он настроен. Это и есть настройка контура приемника в резонанс с частотой передающей станции. При этом сигналы других станций совсем не слышны или прослушиваются очень тихо, так как возбуждаемые ими колебания в контуре будут во много раз более слабыми.

Таким образом, настраивая контур своего первого приемника в резонанс с несущей частотой радиостанции, ты с его помощью как бы отбирал, выделял колебания частоты только этой станции. Чем лучше контур будет выделять нужные колебания из антенны, тем выше селективность приемника, тем слабее будут помехи со стороны других радиостанций.

До сих пор мы говорили о замкнутом колебательном контуре, т. е. контуре, собственная частота которого определяется только индуктивностью катушки и емкостью конденсатора, образующих его. Однако во входной контур приемника входят также антенна и заземление. Это уже не замкнутый, а открытый колебательный контур. Дело в том, что провод антенны и земля являются «обкладками» конденсатора (рис. 43), обладающего некоторой электрической емкостью. В зависимости от длины провода и высоты антенны над землей эта емкость может составлять несколько сотен пикофарад. Такой конденсатор на рис. 34, *а* был показан штриховыми линиями. Но ведь антенну и землю можно рассматривать и как неполный виток большой катушки. Стало быть, антенна и заземление, взятые вместе, обладают еще и индуктивностью. А емкость совместно с индуктивностью образуют колебательный контур.

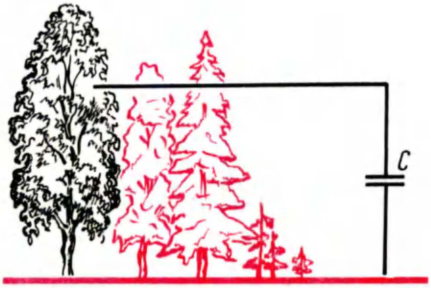


Рис. 43. Антенна и заземление — открытый колебательный контур

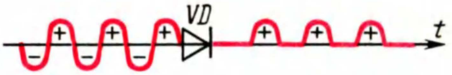


Рис. 44. Диод преобразует переменный ток в пульсирующий

Такой контур, являющийся открытым колебательным контуром, тоже обладает собственной частотой колебаний. Включая между антенной и землей катушки индуктивности и конденсаторы, мы можем изменять его собственную частоту, настраивать его в резонанс с частотами разных радиостанций. Как это делается на практике, ты уже знаешь.

Я не ошибусь, если скажу, что колебательный контур является «сердцем» радиоприемника. И не только радиоприемника. В этом ты еще убедишься. Поэтому ему я и уделил много внимания.

Перехожу ко второму элементу приемника — детектору.

Детектор. В твоем первом приемнике роль детектора выполнял диод. Подробно о его устройстве и работе мы поговорим в пятой беседе. Сейчас же лишь скажу, что он является двухэлектродным полупроводниковым прибором, обладающим односторонней электропроводностью: хорошо проводит ток одного направления и плохо — ток обратного направления. Для простоты же объяснения работы диода, как детектора, будем считать, что ток обратного направления он вообще не проводит и является для него как бы изолятором. Это свойство диода иллюстрирует график, изображенный на рис. 44; диод беспрепятственно пропускает через себя положительные полуволны переменного тока и совсем не пропускает отрицательные полуволны, он их как бы срезает. В результате такого действия диода переменный ток преобразуется в пульсирующий — ток одного направления, но изменяющийся по значению с частотой пропускаемого через него тока. Этот преобразовательный процесс, называемый выпрямлением тока, лежит в основе детектирования принятых радиосигналов.

Посмотри на графики, показанные на рис. 45. Они иллюстрируют процессы, происходящие в знакомой тебе детекторной цепи простейшего приемника. Под действием радио-

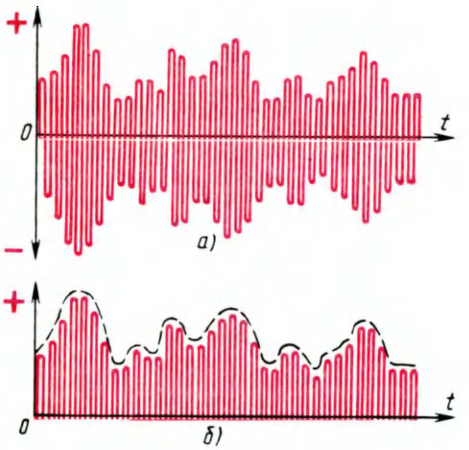


Рис. 45. Графики, иллюстрирующие детектирование модулированных колебаний радиочастоты

волн в контуре приемника возбуждаются модулированные колебания радиочастоты (рис. 45, *а*). К контуру подключена цепь, состоящая из диода и телефонов. Для этой цепи колебательный контур является источником переменного тока радиочастоты. Поскольку диод пропускает ток только одного направления, то модулированные колебания радиочастоты, поступающие в его цепь, будут им выпрямлены (рис. 45, *б*) или, говоря иначе, продетектированы. Если провести штриховую линию, огибающую вершины выпрямленного тока, то получится «рисунок» тока звуковой частоты, которым модулирован ток, поступающий в антенну радиостанции во время передачи.

Ток, получившийся в результате детектирования, состоит из импульсов радиочастоты, амплитуды которых изменяются со звуковой частотой. Его можно рассматривать как суммарный ток и разложить на две составляющие: высокочастотную и низкочастотную. Их называют соответственно высокочастотной и составляющей звуковой частоты пульсирующего тока. В простейшем приемнике составляющая звуковой частоты идет через телефоны и преобразуется ими в звук.

Головной телефон — третье, последнее, звено простейшего приемника, которое, образно выражаясь, «выдает готовую продукцию» — звук. Это один из старейших электрических приборов, почти без изменения сохранивший свои основные черты до наших дней.

Для детекторных и многих простейших транзисторных приемников используют головные телефоны, например, типов ТОН-1, ТГ-1, ТА-4. Это два последовательно соединенных телефона, удерживающихся на оголовье. Отвернем крышку одного из телефонов (рис. 46, *а*). Под ней находится круглая жестяная пластинка — мембрана. Сняв осторожно мембрану, мы увидим две катушки, насаженные на полюсные наконечники постоянного магнита, впрессованного в корпус. Катушки соединены последовательно, а крайние выводы их припаяны к стерженькам, к которым с наружной стороны с помощью зажимных винтов подключен шнур с однополюсными штепсельными вилками.

Как работает телефон? Мембрана, создающая звук, находится возле полюсных наконечников магнита и опирается на бортики корпуса (рис. 46, *б*). Под действием поля магнита она немного прогибается в середине, но не прикасается к полюсным наконечникам магнита (на рис. 46, *б* сплошная линия). Когда через катушки телефона течет ток, он создает вокруг катушек магнитное поле, которое взаимодействует с полем постоянного магнита. Сила этого единого магнитного поля, а значит, и сила притяжения мембраны к полюсным наконечникам зависит от направления тока в катушках. При одном направлении, когда направления магнитных силовых линий катушек и магнита совпадают и их поля складываются, мембрана сильнее притягивается к полюсам магнита (на рис. 46, *б* нижняя штриховая линия). При другом направлении тока силовые линии катушек и магнита направлены встречно

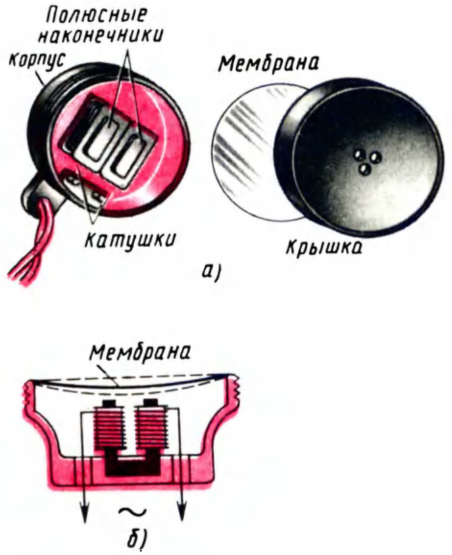


Рис. 46. Устройство (*а*) и работа (*б*) электромагнитного телефона

и общее поле становится слабее, чем поле магнита. В этом случае мембрана слабее притягивается полюсными наконечниками и, выпрямляясь, несколько удаляется от них (на рис. 46, *б* верхняя штриховая линия). Если через катушки телефона пропускать переменный ток звуковой частоты, суммарное магнитное поле станет то усиливаться, то ослабляться, а мембрана будет то приближаться к полюсным наконечникам магнита, то отходить от них, т. е. колебаться с частотой тока. Колеблясь, мембрана создаст в окружающем пространстве звуковые волны.

С первого взгляда может показаться, что постоянный магнит в телефоне не нужен: катушки можно надеть на железную ненамагниченную подковку. Но это не так. И вот почему. Железная подковка, намагничиваемая только током в катушках, будет притягивать мембрану независимо от того, идет ток через катушки в одном направлении или другом. Значит, за один период переменного тока мембрана притянется во время первого полупериода, отойдет от него и еще раз притянется во время второго полупериода, т. е. на один период переменного тока (рис. 47, *а*) она сделает два колебания (рис. 47, *б*). Если, например, частота тока 500 Гц, то мембрана телефона за 1 с сделает $500 \times 2 = 1000$ колебаний и тон звука исказится — будет вдвое выше. Вряд ли нас устроит такой телефон.

С постоянным же магнитом дело обстоит иначе: при одном полупериоде происходит усиление магнитного поля — уже притянутая мембрана прогнется еще больше; при другом полупериоде поле ослабевает и мембрана, выпрямляясь, отходит дальше от полюсов магнита. Таким образом, при наличии постоянного магнита мембрана за один период переменного тока делает только одно колебание (рис. 47, *в*) и телефон не искажает звук. Постоянный магнит, кроме того, повышает громкость звучания телефона.

Теперь разберем такой вопрос: зачем параллельно головным телефонам подключают блокировочный конденсатор? Какова его роль?

Электрическая емкость блокировочного конденсатора такова, что через него свободно проходят токи высокой частоты, а токам звуковой частоты он оказывает значительное сопротивление. Телефоны, наоборот, хорошо пропускают токи звуковой частоты и оказывают большое сопротивление токами высокой частоты. На этом участке детекторной цепи высокочастотный пульсирующий ток разделяется (на рис. 48 — в точке *а*) на составляющие, которые далее идут: высокочастотная — через блокировочный конденсатор $C_{бл}$, а составляющая звуковой частоты — через телефоны BF. Затем составляющие соединяются (на рис. 48 — в точке *б*) и далее опять идут вместе.

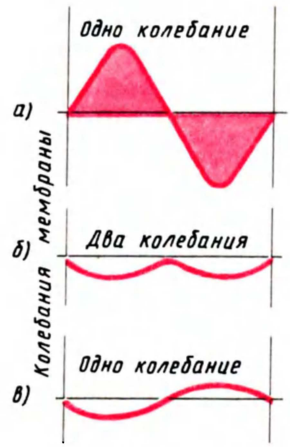


Рис. 47. Графики, иллюстрирующие работу телефона:

а — переменный ток в телефоне; *б* — колебание мембраны в телефоне без постоянного магнита; *в* — ток в телефоне с постоянным магнитом

Назначение блокировочного конденсатора можно объяснить еще так. Телефон из-за инертности мембраны не может отзываться на каждый высокочастотный импульс тока в детекторной цепи. Значит, чтобы телефон работал, надо как-то «сгладить» высокочастотные импульсы, «заполнить» провалы тока между ними. Эта задача и решается с помощью блокировочного конденсатора следующим образом. Отдельные высокочастотные импульсы заряжают конденсатор. В моменты между импульсами конденсатор разряжается через телефон, заполняя таким образом «провалы» между импульсами. В результате через телефон идет ток одного направления, но изменяющийся по значению со звуковой частотой, который и преобразуется им в звук.

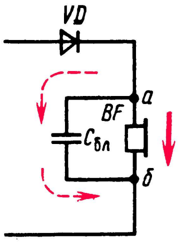


Рис. 48. В точке а детекторной цепи составляющие высокочастотного пульсирующего тока разделяются, а в точке б соединяются

Еще короче о роли блокировочного конденсатора можно сказать так: он фильтрует сигнал звуковой частоты, выделенный диодом, т. е. «очищает» его от составляющей радиочастоты.

Почему же детекторный приемник работал во время самого первого опыта (см. рис. 29), когда блокировочного конденсатора не было? Его компенсировала емкость, сосредоточенная между проводами шнура и витками катушек телефонов. Но эта емкость значительно меньше емкости специально подключаемого конденсатора. В этом случае ток через детектор будет меньшим, чем при наличии блокировочного конденсатора, и передача слышна слабее. Это особенно заметно при приеме отдаленных станций.

Качество работы телефона оценивают главным образом с точки зрения его чувствительности — способности реагировать на слабые колебания электрического тока. Чем слабее колебания, на которые отзывается телефон, тем выше его чувствительность.

Чувствительность телефона зависит от числа витков в его катушках и качества магнита. Два телефона с совершенно одинаковыми магнитами, но с катушками, содержащими неодинаковое число витков, различны по чувствительности. Лучшей чувствительностью будет обладать тот из них, в котором использованы катушки с большим числом витков. Чувствительность телефона зависит также от положения мембраны относительно полюсных наконечников магнита. Наилучшая чувствительность его будет в том случае, когда мембрана находится очень близко к полюсным наконечникам, но, вибрируя, не прикасается к ним.

Телефоны принято подразделять на высокоомные — с большим числом витков в катушках, и низкоомные — с относительно небольшим числом витков. Для детекторного приемника пригодны только высокоомные телефоны. Катушки каждого телефона типа ТОН-1, например, намотаны эмалированным проводом толщиной 0,06 мм и имеют по 4000 витков. Их сопротивление постоянному току около 2200 Ом. Это число, характеризующее телефоны, выштамповано на их корпусах. Поскольку два телефона соединены последовательно, их общее сопротивление постоянному току составляет 4400 Ом. Сопротивление постоянному току низкоомных телефонов, например типа ТА-56, может быть 50...60 Ом. Низкоомные телефоны можно использовать для некоторых транзисторных приемников.

Как проверить исправность и чувствительность головных телефонов? Прижми их к ушам. Смочи слюной штепсельные вилки на конце шнура, а затем коснись ими друг друга — в телефонах должен быть слышен слабый щелчок. Чем сильнее этот щелчок, тем чувствительнее телефоны. Щелчки получаются потому, что смоченный контакт между металлическими вилками представляет собой очень слабый источник тока.

Грубо проверить телефоны можно с помощью батареи для карманного электрического фонарика. При подключении телефонов к батарее и отключении от нее должны быть слышны резкие щелчки. Если щелчков нет, значит, где-то в катушках или шнуре имеется обрыв или плохой контакт.

ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ

Детекторный приемник прост. Однако и в нем, как и в сложном приемнике, могут быть неполадки, которые надо уметь находить и устранять.

Меньше всего неисправностей бывает, как правило, в приемнике, детали которого укреплены прочно, монтаж выполнен аккуратно, а все соединения надежно пропаяны.

Но если все же приемник перестал работать или работает с перебоями, значит, где-то обрыв, ненадежный или совсем плохой контакт, произошло короткое замыкание. Надо прежде всего посмотреть, нет ли внешних повреждений в катушке, хорошо ли присоединены антенна и заземление, в порядке ли переключатель.

Проверь исправность антенны, заземления и их вводов, посмотри, не соприкасается ли провод антенны с каким-либо предметом, через который может быть утечка тока из антенны в землю помимо приемника. Если внешних повреждений в приемнике, антенне и заземлении не обнаружено, значит, где-то нарушился контакт в самом приемнике. Чаще всего плохие контакты появляются в переключателях из-за отвертывания гаек и винтов во время настройки, плохой зачистки монтажного провода в местах соединений. При этом приемник вообще перестает работать или его передачи принимаются со значительным треском.

Неисправность может быть и в самой катушке, если она намотана не из целого отрезка провода и места соединения не пропаяны. Так бывает часто, если приемник долго находился в сыром месте: от сырости соединения окисляются, нарушаются электрические контакты.

Какие еще могут быть неисправности в приемнике?

Посмотри на схему своего приемника и ответь на такие вопросы. Будет ли работать приемник, если блокировочный конденсатор окажется «пробитым» (его обкладки соединены)? Что произойдет, если соединятся проводники шнура головных телефонов? Будет ли работать приемник, если случайно соединятся начало и конец контурной катушки или надломятся ее отводы? Задай себе еще ряд подобных вопросов и ответь на них. Тогда тебе будет легче отыскивать неисправности в приемнике и устранять их.

В седьмой беседе ты узнаешь о пробниках и приборах, с помощью которых облегчается оценка качества деталей, контактов, соединений. Ими тоже можно воспользоваться для отыскания неисправностей в детекторном приемнике.

⁂

Следующим шагом практического освоения радиоприемной техники будет постройка однотранзисторного устройства, обеспечивающего более громкое, чем детекторный приемник, звучание головных телефонов. Но прежде надо будет поглубже «заглянуть» в электротехнику, поговорить об устройстве и работе транзисторов, других приборах и радиотехнических деталях, без чего этот шаг может стать ненадежным.

БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ

ЭКСКУРСИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКУ

Рассказывая в предыдущих беседах об истории электро- и радиотехники, о сущности радиопередачи и радиоприеме, о работе детекторного приемника, я обходился лишь поверхностным объяснением тех или иных электрических явлений, прибегая к аналогиям, примерам. Да и твой первый приемник состоял всего из нескольких деталей.

Дальнейшее знакомство с радиотехникой, монтаж более сложных радиотехнических приборов и устройств потребуют более широких знаний электротехники и некоторых законов ее, умения рассчитывать хотя бы простые электрические цепи. Кроме того, тебе придется иметь дело с новыми, пока что незнакомыми деталями и приборами, устройство и принцип работы которых надо знать. Поэтому-то я и предлагаю тебе в этой беседе совершить своеобразную «экскурсию» в электротехнику.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК И ЕГО ОЦЕНКА

Характеризуя количественное значение электрического тока, я иногда пользовался такой терминологией, как, например, «малый ток», «большой ток». На первых порах такая оценка тока как-то устраивала тебя, но она совершенно непригодна для характеристики тока с точки зрения работы, которую он может выполнять.

Когда мы говорим о работе тока, под этим подразумеваем, что его энергия преобразуется в какой-либо иной вид энергии: тепло, свет, химическую или механическую энергию. Чем больше поток электронов, тем значительнее ток и его работа. Иногда говорят, «сила тока» или просто «ток». Таким образом, слово «ток» имеет два значения. Оно обозначает само явление движения электрических зарядов в проводнике, а также служит оценкой количества электричества, проходящего по проводнику.

Ток (или силу тока) оценивают числом электронов, проходящих по проводнику в течение 1 с. Число это огромно. Через нить накала горящей лампочки электрического карманного фонарика, например, ежесекундно проходит около 2 000 000 000 000 000 000 электронов. Вполне понятно, что характеризовать ток количеством электронов неудобно, так как пришлось бы иметь дело с очень большими числами. За единицу электрического тока принят ампер (сокращенно пишут А). Так ее назвали в честь французского физика и математика А. Ампера (1775—1836 гг.), изучавшего законы механического взаимодействия проводников с током и другие электрические явления. Ток 1 А — это ток такого значения, при котором через поперечное сечение проводника за 1 с проходит 6 250 000 000 000 000 000 электронов.

В математических выражениях ток обозначают латинской буковой I или i (читается «и»). Например, пишут: I = 2 А или i = 0,5 А.

Наряду с ампером применяют более мелкие единицы силы тока: миллиампер (пишут мА), равный 0,001 А, и микроампер (пишут мкА), равный 0,000001 А или 0,001 мА. Следовательно, 1 А равен 1000 мА или 1 000 000 мкА.

Приборы, служащие для измерения токов, называют соответственно амперметрами, миллиамперметрами, микроамперметрами. Их включает в электрическую цепь последовательно с потребителем тока, т. е. в разрыв внешней цепи (рис. 49). На схемах эти приборы изображают кружками с присвоенными им буквами внутри: А (амперметр), мА (миллиамперметр) и μA (микроамперметр), а ряд пишут PA, что означает измеритель тока. Измерительный прибор рассчитан на ток не больше некоторого предельного для данного прибора. Прибор нельзя включать в цепь, в которой течет ток, превышающий это значение, иначе он может испортиться.

У тебя может возникнуть вопрос: как оценить переменный ток, направление и значение которого непрерывно изменяются? Переменный ток обычно оценивают по его действующему значению. Это такое значение тока, которое соответствует постоянному току, производящему такую же работу. Действующее значение переменного тока составляет примерно 0,7 амплитудного, т. е. максимального значения.

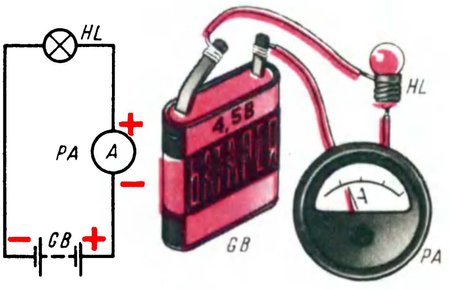


Рис. 49. Амперметр (миллиамперметр, микроамперметр) включают в электрическую цепь последовательно с потребителем тока

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Говоря о проводниках, мы имеем в виду вещества, материалы и прежде всего металлы, относительно хорошо проводящие ток. Однако не все вещества, называемые проводниками, одинаково хорошо проводят электрический ток, т. е. они, как говорят, обладают неодинаковой проводимостью тока. Объясняется это тем, что при своем движении свободные электроны сталкиваются с атомами и молекулами вещества, причем в одних веществах атомы и молекулы сильнее мешают движению электронов, а в других — меньше. Говоря иными словами, одни вещества оказывают электрическому току бóльшее сопротивление, а другие — меньшее. Из всех материалов, широко применяемых в электро- и радиотехнике, наименьшее сопротивление электрическому току оказывает медь. Поэтому-то электрические провода и делают чаще всего из меди. Еще меньшее сопротивление имеет серебро, но это очень дорогой металл. Железо, алюминий и разные металлические сплавы обладают бóльшим сопротивлением, т. е. худшей электропроводимостью.

Сопротивление проводника зависит не только от свойств его материала, но и от размера самого проводника. Толстый проводник обладает меньшим сопротивлением, чем тонкий из такого же материала; короткий проводник имеет меньшее сопротивление, длинный — большее, так же как широкая и короткая труба оказывает меньшее препятствие движению воды, чем тонкая и длинная. Кроме того, сопротивление металлического проводника зависит от его температуры: чем ниже температура проводника, тем меньше его сопротивление.

За единицу электрического сопротивления принят ом (пишут Ом) — по имени немецкого физика Г. Ома. Сопротивление 1 Ом — сравнительно небольшая электрическая величина. Такое сопротивление току оказывает, например, отрезок медного провода диаметром 0,15 мм и длиной 1 м. Сопротивление нити накала лампочки карманного электрического фонаря около 10 Ом, нагревательного элемента электроплитки — несколько десятков ом. В радиотехнике чаще приходится иметь дело с бóльшими, чем ом или несколько десятков ом, сопротивлениями. Сопротивление высокоомного телефона, например, больше 2000 Ом; сопротивление полупроводникового диода, включенного в непропускающем ток направлении, несколько сотен тысяч ом. Знаешь, какое сопротивление электрическому току оказывает твое тело? От 1000 до 20 000 Ом. А сопротивление резисторов — специальных деталей, о которых я буду еще говорить в этой беседе, могут быть до нескольких миллионов ом и больше. Эти детали, как ты уже знаешь (по рис. 33), на схемах обозначают в виде прямоугольников.

В математических формулах сопротивление обозначают латинской буквой R. Такую же букву ставят и возле графических обозначений резисторов на схемах.

Для выражения больших сопротивлений резисторов используют более крупные единицы: килоом (сокращенно пишут кОм), равный 1000 Ом, и мегаом (сокращенно пишут МОм), равный 1 000 000 Ом или 1000 кОм.

Сопротивления проводников, электрических цепей, резисторов или других деталей измеряют специальными приборами — омметрами. На схемах омметр обозначают кружком с греческой буков Ω (омега) внутри.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

За единицу электрического напряжения, электродвижущей силы (ЭДС) принят вольт (в честь итальянского физика А. Вольта). В формулах напряжение обозначают латинской буквой U (читается «у»), а саму единицу напряжения — вольт — буквой В. Например, пишут: U = 4,5 В; U = 220 В. Единица вольт характеризует напряжение на концах проводника, участке электрической цепи или полюсах источника тока. Напряжение 1 В — это такая электрическая величина, которая в проводнике сопротивлением 1 Ом создает ток, равный 1 А.

Батарея 3336 (иногда пишут с буквой Л в конце обозначения, что означает «летняя»), предназначенная для плоского карманного электрического фонаря, как ты уже знаешь, состоит из трех элементов, соединенных последовательно. На этикетке батареи можно прочитать, что ее напряжение 4,5 В. Значит, напряжение каждого из элементов батареи 1,5 В. Напряжение батареи «Крона» 9 В, а напряжение электроосветительной сети может быть 127 или 220 В.

Напряжение измеряют вольтметром, подключая прибор одноименными зажимами к полюсам источника тока или параллельно участку цепи, резистору или другой нагрузке, на которой необходимо измерить действующее на ней напряжение (рис. 50). На схемах вольтметр обозначают латинской буквой V в кружке, а рядом — PU. Для оценки напряжения применяют и более крупную единицу — киловольт (пишут кВ), соответствующую 1000 В, а также более мелкие единицы — милливольт (пишут мВ), равный 0,001 В, и микровольт (пишут мкВ), равный 0,001 мВ. Эти напряжения измеряют соответственно киловольтметрами, милливольтметрами и микровольтметрами. Такие приборы, как и вольтметры, подключают параллельно источникам тока или участкам цепей, на которых надо измерить напряжение.

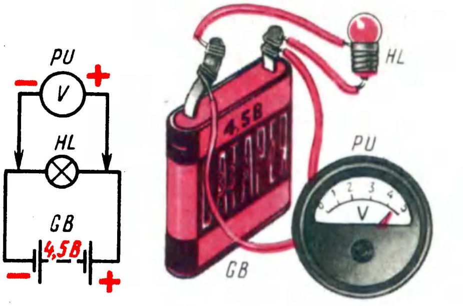


Рис. 50. Вольтметр подключают параллельно нагрузке или источнику тока, питающего электрическую цепь

Выясним теперь, в чем разница понятий «напряжение» и «электродвижущая сила».

Электродвижущей силой называют напряжение, действующее между полюсами источника тока, пока к нему не подключена внешняя цепь — нагрузка, например лампочка накаливания или резистор. Как только будет подключена внешняя цепь и в ней возникнет ток, напряжение между полюсами источника тока станет меньше. Так, например, новый, не бывший еще в употреблении, гальванический элемент имеет ЭДС не менее 1,5 В. При подключении к нему нагрузки напряжение на его полюсах становится равным примерно 1,3...1,4 В. По мере расходования энергии элемента на питание внешней цепи его напряжение постепенно уменьшается. Элемент считается разрядившимся и, следовательно, негодным для дальнейшего применения, когда напряжение снижается до 0,7 В, хотя, если отключить внешнюю цепь, его ЭДС будет больше этого напряжения.

А как оценивают переменное напряжение? Когда говорят о переменном напряжении, например о напряжении электроосветительной сети, то имеют в виду его действующее

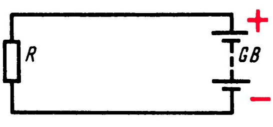


Рис. 51. Простейшая электрическая цепь

значение, составляющее примерно, как и действующее значение переменного тока, 0,7 амплитудного значения напряжения.

ЗАКОН ОМА

На рис. 51 показана схема знакомой тебе простейшей электрической цепи. Эта замкнутая цепь состоит из трех элементов: источника напряжения — батареи GB, потребителя тока — нагрузки R, которой может быть, например, нить накала электрической лампы или резистор, и проводников, соединяющих источник напряжения с нагрузкой. Между прочим, если эту цепь дополнить выключателем, то получится полная схема карманного электрического фонаря.

Нагрузка R, обладающая определенным сопротивлением, является участком цепи. Значение тока на этом участке цепи зависит от действующего на нем напряжения и его сопротивления: чем больше напряжение и меньше сопротивление, тем больший ток будет идти по участку цепи. Эта зависимость тока от напряжения и сопротивления выражается следующей формулой:

$I = U/R$,

где I — ток, выраженный в амперах, А; U — напряжение в вольтах, В; R — сопротивление в омах, Ом. Читается это математическое выражение так: ток в участке цепи прямо пропорционален напряжению на нем и обратно пропорционален его сопротивлению. Это основной закон электротехники, именуемый *законом Ома* (по фамилии Г. Ома) для участка электрической цепи.

Закон Ома можно записать еще так:

$U = IR$ или $R = U/I$.

Используя закон Ома, можно по двум известным электрическим величинам узнать неизвестную третью. Вот несколько примеров практического применения закона Ома.

Первый пример. На участке цепи, обладающем сопротивлением 5 Ом, действует напряжение 25 В. Надо узнать значение тока на этом участке цепи.

Решение: $I = U/R = 25/5 = 5$ А.

Второй пример. На участке цепи действует напряжение 12 В, создавая в нем ток, равный 20 мА. Каково сопротивление этого участка цепи?

Прежде всего ток 20 мА нужно выразить в амперах. Это будет 0,02 А. Тогда $R = U/I = 12/0{,}2 = 600$ Ом.

Третий пример. Через участок цепи сопротивлением 10 кОм течет ток 20 мА. Каково напряжение, действующее на этом участке цепи?

Здесь, как и в предыдущем примере, ток должен быть выражен в амперах (20 мА = 0,02 А), а сопротивление в омах (10 кОм = 10 000 Ом). Следовательно, $U = IR = 0{,}02 \times 10\,000 = 200$ В.

На цоколе лампы накаливания плоского карманного фонаря выштамповано: 0,28 А и 3,5 В. О чем говорят эти сведения? О том, что лампочка будет нормально светиться при токе 0,28 А, который обусловливается напряжением 3,5 В. Пользуясь законом Ома, нетрудно подсчитать, что накаленная нить лампочки имеет сопротивление $R = U/I = 3{,}5/0{,}28 = 12{,}5$ Ом.

Это, подчеркиваю, сопротивление накаленной нити лампочки. А сопротивление остывшей нити значительно меньше.

Закон Ома справедлив не только для участка, но и для всей электрической цепи. В этом случае в значение R подставляют суммарное сопротивление всех элементов цепи, в том числе и внутреннее сопротивление источника тока. Однако при простейших расчетах цепей обычно пренебрегают сопротивлением соединительных проводников и внутренним сопротивлением источника тока. В связи с этим приведу еще один пример. Напряжение электроосветительной сети 220 В. Какой ток потечет в цепи, если сопротивление нагрузки равно 1000 Ом? Решение: $I = U/R = 220/1000 = 0{,}22$ А.

Примерно такой ток потребляет электрический паяльник.

Всеми этими формулами, вытекающими из закона Ома, можно пользоваться и для расчета цепей переменного тока, но при условии, что в цепях нет катушек индуктивности и конденсаторов.

Теперь рассмотрим такой вопрос: как влияет на ток резистор, включаемый в цепь последовательно с нагрузкой или параллельно ей?

Разберем такой пример. У нас имеется лампочка от круглого электрического фонаря, рассчитанная на напряжение 2,5 В и ток 0,075 А. Можно ли питать эту лампочку от батареи 3336, начальное напряжение которой 4,5 В? Нетрудно подсчитать, что накаленная нить этой лампочки имеет сопротивление немногим больше 30 Ом. Если же питать ее от свежей батареи 3336, то через нить накала лампочки, по закону Ома, пойдет ток, почти вдвое превышающий тот ток, на который она рассчитана. Такой перегрузки нить не выдержит, она перекалится и разрушится. Но эту лампочку все же можно питать от батареи 3336, если последовательно в цепь включить добавочный резистор сопротивлением 25 Ом, как это показано на рис. 52. В этом случае общее сопротивление внешней цепи будет равно примерно 55 Ом, т. е. 30 Ом — сопротивление нити лампочки HL плюс 25 Ом — сопротивление добавочного резистора R. В цепи, следовательно, потечет ток, равный примерно 0,08 А, т. е. почти такой же, на который рассчитана нить накала лампочки. Эту лампочку можно питать от батареи и с более высоким напряжением и даже от электроосветительной сети, если подобрать резистор соответствующего сопротивления.

В этом примере добавочный резистор ограничивает ток в цепи до нужного нам значения. Чем больше будет его сопротивление, тем меньше будет и ток в цепи. В данном случае в цепь было включено последовательно два сопротивления: сопротивление нити лампочки и сопротивление резистора. А при последовательном соединении сопротивлений ток одинаков во всех точках цепи. Можно включать амперметр в любую точку цепи, и всюду он будет показывать одно значение. Это явление можно сравнить с потоком воды в реке. Русло реки на различных участках может быть широким или узким, глубоким или мелким. Однако за определенный промежуток времени через поперечное сечение любого участка русла реки всегда проходит одинаковое количество воды.

Добавочный резистор, включаемый в цепь последовательно с нагрузкой (как, например, на рис. 52), можно рассматривать как резистор, «гасящий» часть напряжения, действующего в цепи. Напряжение, которое гасится добавочным резистором или, как говорят, падает на нем, будет тем бóльшим, чем больше сопротивление этого резистора. Зная ток и сопротивление добавочного резистора, падение напряжения на нем легко подсчитать по знакомой тебе формуле $U = IR$. Здесь U — падение напряжения, В; I — ток в цепи, А; R — сопротивление добавочного резистора, Ом.

Применительно к нашему примеру резистор R (рис. 52) погасил избыток напряжения: $U = IR = 0{,}08 \times 25 = 2$ В. Остальное напряжение батареи, равное приблизительно 2,5 В, падало на нити лампочки.

Необходимое сопротивление резистора можно найти по другой знакомой тебе формуле: $R = U/I$, где R — искомое сопротивление добавочного резистора, Ом; U — напряжение, которое необходимо погасить, В; I — ток в цепи, А. Для нашего примера (рис. 52) сопротивление добавочного резистора равно: $R = U/I = 2/0{,}075 \approx 27$ Ом. Изменяя сопротивление, можно уменьшать или увеличивать напряжение, которое падает на добавочном резисторе, и таким образом регулировать ток в цепи.

Но добавочный резистор R в такой цепи может быть переменным, т. е. резистором, сопротивление которого можно изменять (рис. 53). В этом случае с помощью движка резистора можно плавно изменять напряжение, подводимое к нагрузке HL, а значит, плавно регулировать ток, протекающий через эту нагрузку. Включенный таким образом переменный резистор называют реостатом. С помощью реостатов регулируют токи в цепях приемников и усилителей. Во многих кинотеатрах реостаты используют для плавного гашения света в зрительном зале.

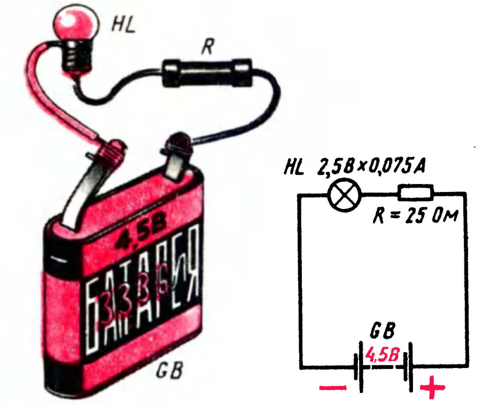


Рис. 52. Добавочный резистор, включенный в цепь, ограничивает ток в этой цепи

Есть, однако, и другой способ подключения нагрузки к источнику тока с избыточным напряжением — тоже с помощью переменного резистора, но включенного потенциометром, т. е. делителем напряжения, как показано на рис. 54. Здесь R1 — резистор, включенный потенциометром, а R2 — нагрузка, которой может быть та же лампочка накаливания или какой-то другой прибор. На резисторе R1 происходит падение напряжения источника тока, которое частично или полностью может быть подано к нагрузке R2. Когда движок резистора находится в крайнем нижнем положении, к нагрузке напряжение вообще не подается (если это лампочка, она гореть не будет). По мере перемещения движка резистора вверх, мы будем

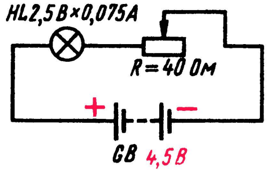


Рис. 53. Регулирование тока в цепи резистором

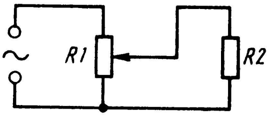


Рис. 54. Регулирование напряжения на нагрузке R2 цепи с помощью переменного резистора R1

подавать все большее напряжение к нагрузке R2 (если это лампочка, ее нить будет накаливаться). Когда же движок резистора R1 окажется в крайнем верхнем положении, к нагрузке R2 будет подано все напряжение источника тока (если R2 — лампочка карманного фонаря, а напряжение источника тока большое, нить лампочки перегорит). Можно опытным путем найти такое положение движка переменного резистора, при котором к нагрузке будет подано необходимое ей напряжение.

Переменные резисторы, включаемые потенциометрами, широко используют для регулирования громкости в приемниках и усилителях колебаний звуковой частоты.

Резистор может быть непосредственно подключен параллельно нагрузке. В таком случае ток на этом участке цепи разветвляется и идет двумя параллельными путями: через добавочный резистор и через основную нагрузку. Наибольший ток будет в ветви с наименьшим сопротивлением. Сумма же токов обеих ветвей равна току, расходуемому на питание внешней цепи.

К параллельному соединению прибегают, когда надо ограничить ток не во всей цепи, как при последовательном включении добавочного резистора, а только в каком-то участке ее. Добавочные резисторы подключают, например, параллельно миллиамперметрам, чтобы ими можно было измерять большие токи. Такие резисторы называют шунтирующими, или шунтами. Слово шунт означает «ответвление».

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

В цепи переменного тока на значение тока влияет не только сопротивление проводника, включенного в цепь, но и его индуктивность. Поэтому в цепях переменного тока различают так называемое омическое или активное сопротивление, определяемое свойствами материала проводника, и индуктивное сопротивление, определяемое индуктивностью проводника. Прямой проводник обладает сравнительно небольшой индуктивностью. Но если этот проводник свернуть в катушку, его индуктивность увеличится. При этом увеличится и сопротивление, оказываемое им переменному току,— ток в цепи уменьшится. С увеличением частоты тока индуктивное сопротивление катушки тоже увеличивается.

Запомни: сопротивление катушки индуктивности переменному току возрастает с увеличением ее индуктивности и частоты проходящего по ней тока. Это свойство катушки используют в различных цепях приемников, когда требуется ограничить ток высокой частоты или выделить колебания высокой частоты, в выпрямителях переменного тока и во многих других случаях, с которыми тебе придется постоянно сталкиваться на практике.

Единицей индуктивности является генри (Гн). Индуктивностью 1 Гн обладает такая катушка, у которой при изменении тока в ней на 1 А в течение 1 с развивается ЭДС самоиндукции, равная 1 В. Этой единицей пользуются для определения индуктивности катушек, которые включают в цепи токов звуковой частоты. Индуктивность катушек, используемых в колебательных контурах, измеряют в тысячных долях генри, называемых миллигенри (мГн), или еще в тысячу раз меньшей единицей — микрогенри (мкГн).

МОЩНОСТЬ И РАБОТА ТОКА

На нагрев нити накала электролампы, электропаяльника, электроплитки или иного прибора затрачивается некоторое количество электроэнергии. Эту энергию, отдаваемую источником тока (или получаемую от него нагрузкой) в течение 1 с, называют мощностью тока. За единицу мощности тока принят ватт (Вт). Ватт — это мощность, которую развивает постоянный ток 1 А при напряжении 1 В. В формулах мощность тока обозначают латинской буквой P (читается «пэ»). Электрическую мощность в ваттах получают умножением напряжения в вольтах на ток в амперах, т. е. $P = U \times I$.

Если, например, источник постоянного тока напряжением 4,5 В создает в цепи ток 0,1 А, то мощность тока будет: $P = U \times I = 4{,}5 \times 0{,}1 = 0{,}45$ Вт. Пользуясь этой формулой, можно подсчитать мощность, потребляемую лампочкой плоского карманного фонаря, если 3,5 В умножить на 0,28 А. Получим около 1 Вт.

Изменив эту формулу так: $I = P/U$, можно узнать ток, протекающий через электрический прибор, если известны потребляемая им мощность и подводимое к нему напряжение. Каков, например, ток, идущий через электрический паяльник, если известно, что при напряжении 220 В он потребляет мощность 40 Вт?

$I = P/U = 40/220 \approx 0{,}18$ А.

Если известны ток и сопротивление цепи, но неизвестно напряжение, мощность можно подсчитать по такой формуле: $P = I^2R$. Когда же известны напряжение, действующее в цепи, и сопротивление этой цепи, то для подсчета мощности используют такую формулу: $P = U^2/P$.

Но ватт — сравнительно небольшая единица мощности. Когда приходится иметь дело с электрическими устройствами, приборами или машинами, потребляющими токи в десятки, сотни ампер, используют единицу мощности киловатт (пишут кВт), равную 1000 Вт. Мощности электродвигателей заводских станков, например, могут составлять от нескольких единиц до десятков киловатт.

Количественный расход электроэнергии оценивают ватт-секундой, характеризующей единицу энергии — джоуль. Расход электроэнергии определяют умножением мощности, потребляемой прибором, на время его работы в секундах. Если, например, лампочка плоского электрического фонарика (ее мощность, как ты уже знаешь, около 1 Вт) горела 25 с, значит, расход энергии составил 25 ватт-секунд. Однако ватт-секунда — величина очень малая. Поэтому на практике используют более крупные единицы расхода электроэнергии: ватт-час, гектоватт-час и киловатт-час.

Чтобы расход энергии был выражен в ватт-часах и киловатт-часах, нужно соответственно мощность в ваттах или киловаттах умножить на время в часах. Если, например, прибор потребляет мощность 0,5 кВт в течение 2 ч, то расход энергии составит $0{,}5 \times 2 = 1$ кВт·ч; 1 кВт·ч энергии будет также израсходован, если цепь будет потреблять (или расходовать) мощность 2 кВт в течение получаса, 4 кВт в течение четверти часа и т. д. Электрический счетчик, установленный в доме или квартире, где ты живешь, учитывает расход электроэнергии в киловатт-часах. Умножив показания счетчика на стоимость 1 кВт·ч, ты узнаешь, на какую сумму израсходовано энергии за неделю, месяц.

При работе с гальваническими элементами или батареями говорят об их электрической емкости в ампер-часах, которая выражается произведением значения разрядного тока на длительность работы в часах. Начальная емкость батареи 3336, например, 0,5 А·ч. Подсчитай, сколько времени будет батарея непрерывно работать, если разряжать ее током 0,28 А (ток лампочки карманного фонаря)? Примерно один и три четверти часа. Если же эту батарею разряжать более интенсивно, например током 0,5 А, она будет работать меньше 1 ч. Таким образом, зная емкость гальванического элемента или батареи и токи, потребляемые их нагрузками, можно подсчитать примерное время, в течение которого будут работать эти химические источники тока.

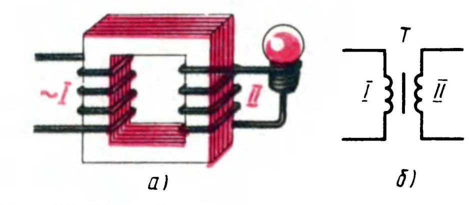


Рис. 55. Трансформатор с магнитопроводом из стали:

а — устройство в упрощенном виде; *б* — графическое обозначение на схемах

Начальная емкость, а также рекомендуемый разрядный ток или сопротивление внешней цепи, определяющее разрядный ток элемента или батареи, указывают иногда на их этикетках или в справочной литературе.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный ток выгодно отличается от постоянного тока тем, что он хорошо поддается трансформированию, т. е. преобразованию тока относительно высокого напряжения в ток более низкого напряжения или наоборот. Трансформаторы позволяют передавать переменный ток по проводам на большие расстояния с малыми потерями энергии. Для этого переменное напряжение, вырабатываемое на электростанциях генераторами, с помощью трансформаторов повышают до напряжения в несколько сотен тысяч вольт и «посылают» по линиям электропередачи (ЛЭП) в различных направлениях. С повышением напряжения уменьшается сила тока в ЛЭП при одной и той же передаваемой мощности, что и приводит к снижению потерь и позволяет применять провода меньшего сечения. В городах и селах на расстоянии сотен и тысяч километров от электростанций это напряжение понижают трансформаторами до более низкого, которым и питают лампочки освещения, электродвигатели и другие электрические приборы.

Трансформаторы широко применяют и в радиотехнике.

Схематическое устройство простейшего трансформатора показано на рис. 55. Он состоит из двух катушек из изолированного провода, называемых обмотками, насаженных на магнитопровод, собранный из пластин специальной, так называемой трансформаторной, стали. Обмотки трансформатора изображают на схемах так же, как катушки индуктивности, а магнитопровод — линией между ними. Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Переменный ток, текущий по одной из обмоток трансформатора, создает вокруг нее и в магнитопроводе переменное магнитное поле. Это поле пересекает витки другой обмотки трансформатора и индуцирует в ней переменное напряжение той же частоты. Если к этой обмотке подключить какую-либо нагрузку, например лампу накаливания, то в получившейся замкнутой цепи потечет переменный ток — лампа станет гореть. Обмотку, к которой подводится переменное напряжение, предназначаемое для трансформирования, называют первичной, а обмотку, в которой индуцируется переменное напряжение,— вторичной.

Напряжение, которое получается на концах вторичной обмотки, зависит от соотношения чисел витков в обмотках. При одинаковом числе витков напряжение на вторичной обмотке приблизительно равно напряжению, подведенному к первичной обмотке. Если вторичная обмотка трансформатора содержит меньшее число витков, чем первичная, то и напряжение ее меньше, чем напряжение, подводимое к первичной обмотке. И, наоборот, если вторичная обмотка содержит больше витков, чем первичная, то развиваемое в ней напряжение будет больше напряжения, подводимого к первичной обмотке. В первом случае трансформатор будет понижать, во втором повышать переменное напряжение.

Напряжение, индуцируемое во вторичной обмотке, можно достаточно точно подсчитать по отношению чисел витков обмоток трансформатора: во сколько раз она имеет большее (или меньшее) число витков по сравнению с числом витков первичной обмотки, во столько же раз напряжение на ней будет больше (или меньше) по сравнению с напряжением, подводимым к первичной обмотке. Так, если одна обмотка трансформатора имеет 1000 витков, а вторая 2000 витков, то, включив первую его обмотку в сеть переменного тока с напряжением 220 В, мы получим во второй обмотке напряжение 440 В — это повышающий трансформатор. Если же напряжение 220 В подвести к обмотке, имеющей 2000 витков, то в обмотке, содержащей 1000 витков, мы получим напряжение 110 В — это понижающий трансформатор. Обмотка, имеющая 2000 витков, в первом случае будет вторичной, а во втором — первичной.

Но, пользуясь трансформатором, ты не должен забывать о том, что мощность тока ($P=UI$), которую можно получить в цепи вторичной обмотки, никогда не превышает мощности тока первичной обмотки. Это значит, что получить от вторичной обмотки одну и ту же мощность можно, повышая напряжение и уменьшая ток, либо потребляя от нее пониженное напряжение при увеличенном токе. Следовательно, повышая напряжение, мы проигрываем в значении тока, а выигрывая в значении тока, обязательно проигрываем в напряжении.

Для питания радиоаппаратуры от сети переменного тока часто используют трансформаторы с несколькими вторичными обмотками с различным числом витков. С помощью таких трансформаторов, называемых сетевыми, или трансформаторами питания, получают несколько напряжений, питающих разные цепи.

Наибольшая мощность тока, которая может быть трансформирована, зависит от размера магнитопровода трансформатора и диаметра провода, из которого выполнены обмотки. Чем больше объем магнитопровода, тем большая мощность тока может быть трансформирована. Практически же в трансформаторе всегда бесполезно теряется часть мощности. Поэтому мощность в цепи вторичной обмотки (или сумма мощностей, получаемых от всех вторичных обмоток) всегда несколько меньше мощности, потребляемой первичной обмоткой.

Но запомни: трансформаторы постоянный ток не трансформируют. Если, однако, в первичной обмотке трансформатора течет пульсирующий ток, то во вторичной обмотке будет индуцироваться переменное напряжение, частота которого равна частоте пульсации тока в первичной обмотке. Это свойство трансформатора используется для индуктивной связи между разными цепями, разделения пульсирующего тока на его составляющие и ряда других целей, о которых разговор будет впереди.

Все трансформаторы со стальными магнитопроводами и магнитопроводами из железоникелевых сплавов (пермаллоя) называются низкочастотными трансформаторами, так как они пригодны только для преобразования переменного напряжения низкочастотного диапазона. На схемах низкочастотные трансформаторы обозначают буквой Т, а их обмотки — римскими цифрами I, II и т. д.

Принцип действия высокочастотных трансформаторов, предназначаемых для трансформации колебаний высокой частоты, также основан на электромагнитной индукции. Они могут быть как с сердечниками, так и без сердечников. Их обмотки (катушки) располагают на одном или разных каркасах, но обязательно близко одну к другой (рис. 56). При появлении тока высокой частоты в одной из катушек вокруг нее возникает быстропеременное магнитное поле, которое индуцирует во второй катушке напряжение такой же частоты. Как и в низкочастотных трансформаторах,

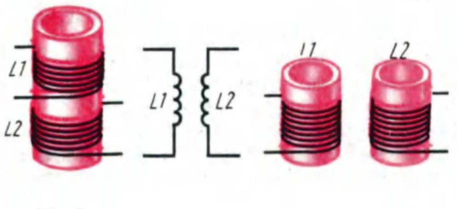


Рис. 56. Высокочастотные трансформаторы без сердечников (слева — катушки трансформатора с общим каркасом; справа — катушки трансформатора на отдельных каркасах; в середине — обозначение на схемах)

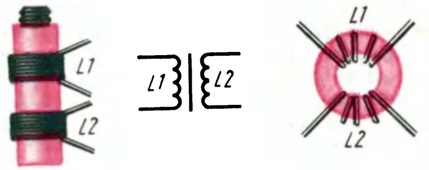


Рис. 57. Высокочастотные трансформаторы с магнитодиэлектрическими сердечниками (слева — со стержневым, справа — с кольцевым /тороидальным/ сердечником)

напряжение во вторичной катушке зависит от соотношения чисел витков в катушках.

Для усиления связи между катушками в высокочастотных трансформаторах используют сердечники в виде стержней или колец (рис. 57), представляющие собой спрессованную массу из неметаллических материалов. Их называют магнитодиэлектрическими или высокочастотными сердечниками. Наиболее распространены ферритовые сердечники. С одним из таких сердечников — ферритовым стержнем — ты уже имел дело во второй беседе. Ферритовый сердечник не только усиливает связь между катушками, но и повышает их индуктивность, поэтому они могут иметь меньше витков по сравнению с катушками трансформатора без сердечника.

Магнитодиэлектрический сердечник высокочастотного трансформатора независимо от его конструкции и формы обозначают на схемах так же, как магнитопровод низкочастотного трансформатора,— прямой линией между катушками, а обмотки, как и катушки колебательных контуров,— латинскими буквами L.

РЕЗИСТОРЫ

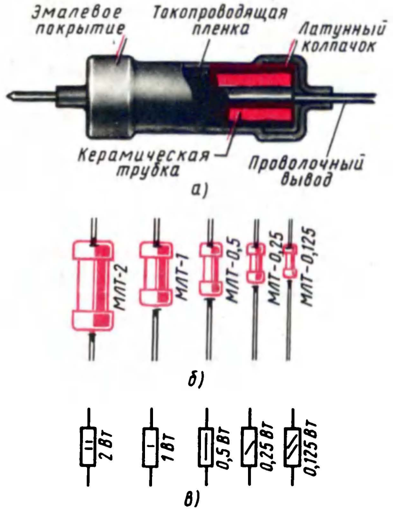
Эти детали, пожалуй, наиболее многочисленны в радиоаппаратуре. В транзисторном приемнике средней сложности, например, их может быть два-три десятка. Используют же их для ограничения тока в цепях, для создания на отдельных участках цепей падений напряжений, для разделения пульсирующего тока на его составляющие, для регулирования громкости, тембра звука и т. д.

Для резисторов сравнительно небольших сопротивлений, рассчитанных на токи в несколько десятков миллиампер, используют тонкую проволоку из никелина, нихрома и некоторых других металлических сплавов. Это проволочные резисторы. Для резисторов больших сопротивлений, рассчитанных на сравнительно небольшие токи, используют различные сплавы металлов и углерод, которые тонкими слоями наносят на изоляционные материалы. Эти резисторы называют непроволочными.

Как проволочные, так и непроволочные резисторы могут быть постоянными, т. е. с неизменными сопротивлениями, и переменными, сопротивления которых в процессе работы можно изменять от некоторых минимальных до их максимальных значений.

Основные характеристики резистора: номинальное, т. е. указанное на его корпусе, сопротивление, номинальная мощность рассеяния и наибольшее возможное отклонение действительного сопротивления от номинального. Мощностью рассеяния резистора называют ту наибольшую мощность тока, которую он может длительное время выдерживать и рассеивать в виде тепла без ущерба для его работы. Если, например, через резистор сопротивлением 100 Ом течет ток 0,1 А, то он рассеивает мощность 1 Вт. Если резистор не рассчитан на такую мощность, то он может быстро сгореть. Номинальная мощность рассеяния — это, по существу, характеристика электрической прочности резистора.

Наша промышленность выпускает постоянные и переменные резисторы разных конструкций и номиналов: от нескольких ом до десятков и сотен мегаом. Из постоянных наиболее распространены металлопленочные резисторы МЛТ (Металлизованные Лакированные Теплостойкие). Конструкция резистора этого типа показана в несколько увеличенном виде на рис. 58, *а*. Его основой служит керамическая трубка, на поверхность которой нанесен слой специального сплава, образующего токопроводящую пленку толщиной 0,1 мкм. У высокоом-



а)

б)

в)

Рис. 58. Постоянные резисторы

ных резисторов этот слой может иметь форму спирали. На концы стержня с токопроводящим покрытием напрессованы металлические колпачки, к которым приварены контактные выводы резистора. Сверху корпус резистора покрыт влагостойкой цветной эмалью.

Резисторы МЛТ изготовляют на мощности рассеяния 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,125 Вт. Их обозначают соответственно: МЛТ-2, МЛТ-1, МЛТ-0,5, МЛТ-0,25 и МЛТ-0,125. Внешний вид этих резисторов и условные обозначения мощностей рассеяния на принципиальных схемах показаны на рис. 58, *б* и *в*. Со временем ты научишься распознавать мощности рассеяния резисторов по их внешнему виду.

Наибольшее возможное отклонение действительного сопротивления резистора от номинального выражают в процентах. Если, например, номинал резистора 100 кОм с допуском ±10%, это значит, что его фактическое сопротивление может быть от 90 до 110 кОм. Номиналы постоянных резисторов широкого применения, выпускаемых нашей промышленностью, указаны в приложении 3, помещенном в конце книги. Таблица этого приложения будет твоим справочным листком. Она подскажет тебе, резисторы каких номиналов и допусков можно искать в магазинах или у товарищей.

Переменный непроволочный резистор устроен так (на рис. 59 резистор СП-I показан без защитной крышки): к круглому пластмассовому основанию приклеена дужка из гетинакса, покрытая тонким слоем сажи, перемешанной с лаком. Этот слой, обладающий сопротивлением, и является собственно резистором. От обоих концов слоя сделаны выводы. В центр основания впрессована втулка. В ней вращается ось, а вместе с осью фигурная гетинаксовая пластинка. На внешнем конце пластинки укреплена токосъемная щетка (ползунок) из нескольких пружинящих проволочек, которая соединена со средним выводным лепестком. При вращении оси щетка перемещается по слою сажи на дужке, вследствие чего изменяется сопротивление между средним и крайними выводами. Сверху резистор закрыт металлической крышкой, предохраняющей его от повреждений.

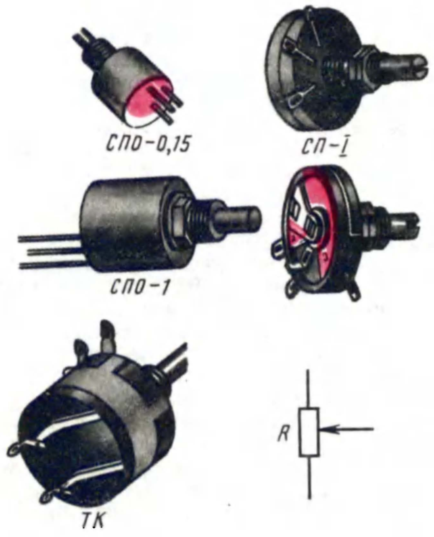


Рис. 59. Конструкции и графическое обозначение переменных резисторов на схемах

Так или примерно так устроены почти все переменные резисторы, в том числе типов СП (Сопротивление Переменное), СПО (Сопротивление Переменное Объемное) и ВК. Резисторы ТК отличаются от резисторов ВК только тем, что на их крышках смонтированы выключатели, используемые для включения источников питания. Принципиально так же устроены и малогабаритные дисковые переменные резисторы, например типа СП3-3в.

Переменные непроволочные резисторы изготовляют с номинальными сопротивлениями, начиная с 47 Ом, с допусками отклонения от номинала ±20, 25 и 30%.

На принципиальных схемах, чтобы не загромождать их, используют систему сокращенных обозначений сопротивлений резисторов, при которой наименования единиц их сопротивлений (Ом, кОм, МОм) при числах не ставят. Такая система обозначения номинальных сопротивлений резисторов применена и в этой книге.

Сопротивления резистора от 1 до 999 Ом обозначают на принципиальных схемах целыми числами, соответствующими омам, а сопротивления резисторов от 1 до 999 кОм — цифрами, указывающими число килоом, с буквой «к». Бóльшие сопротивления резисторов указывают в мегаомах с буквой «М». Вот несколько примеров обозначения сопротивлений резисторов на схемах: R1 270 соответствует 270 Ом; R2 6,8 к — 6800 Ом; R3 56 к — 56 кОм (56 000 Ом); R4 220 к — 220 кОм (0,22 МОм); R5 1,5 М — 1,5 МОм.

Сразу же сделаю оговорку: для подавляющего большинства радиолюбительских конструкций без ущерба для их работы допустимо отклонение от указанных на схемах номиналов резисторов в пределах ±10...15%. Это значит, что резистор сопротивлением, например, 5,1 кОм может быть заменен резистором ближайшего к нему номинала, т. е. резистором с номиналом 4,7 или 5,6 кОм.

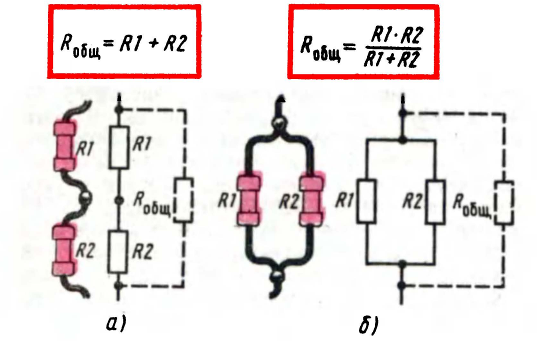

$R_{\text{общ}} = R1 + R2$
$R_{\text{общ}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$
R1
R1
$R_{\text{общ}}$
R2
R2
а)
R1
R2
R1
R2
$R_{\text{общ}}$
б)

Рис. 60. Последовательное (*а*) и параллельное (*б*) соединения резисторов

Представь себе такой случай. Тебе нужен резистор определенного сопротивления. А у тебя нет такого, но есть резисторы других номиналов. Можно ли из них составить резистор нужного сопротивления? Можно, конечно, если знать элементарный расчет последовательного и параллельного соединений сопротивлений электрических цепей и резисторов. При последовательном соединении резисторов (рис. 60, *а*) их общее сопротивление $R_{\text{общ}}$ равно сумме сопротивлений всех соединенных в эту цепочку резисторов, т. е.

$R_{\text{общ}} = R1 + R2 + R3$ и т. д.

Например, если $R1 = 15$ кОм и $R2 = 33$ кОм, то их общее сопротивление $R_{\text{общ}} = 15 + 33 = 48$ кОм (ближайшие номиналы 47 и 51 кОм).

При параллельном соединении резисторов (рис. 60, *б*) их общее сопротивление $R_{\text{общ}}$ уменьшается и всегда меньше сопротивления каждого отдельно взятого резистора. Результирующее сопротивление цепи из параллельно соединенных резисторов рассчитывают по такой формуле:

$R_{\text{общ}} = R1 \cdot R2/(R1 + R2)$.

Допустим, что $R1 = 20$ кОм, а $R2 = 30$ кОм. Общее сопротивление участка цепи, состоящей из этих двух резисторов, равно: $R_{\text{общ}} = R1 \cdot R2/(R1 + R2) = 20 \cdot 30/(20 + 30) = 12$ кОм. Когда параллельно соединяют два резистора с одинаковыми номиналами, их общее сопротивление равно половине сопротивления каждого из них.

КОНДЕНСАТОРЫ

Как и резисторы, конденсаторы относятся к наиболее многочисленным элементам радиотехнических устройств. О некоторых свойствах конденсатора — «накопителя» электрических зарядов — я тебе уже рассказывал. Тогда же говорил, что емкость конденсатора будет тем значительнее, чем больше площадь его обкладок и чем тоньше слой диэлектрика между ними.

Основной единицей электрической емкости является фарада (сокращенно Ф), названная так в честь английского физика М. Фарадея. Однако 1 Ф — это очень большая электрическая емкость. Земной шар, например, обладает емкостью меньше 1 Ф. В электро- и радиотехнике пользуются единицей емкости, равной миллионной доле фарады, которую называют микрофарадой (сокращенно мкФ). В одной фараде 1 000 000 мкФ, т. е. 1 мкФ = 0,000 001 Ф. Но и эта единица емкости часто оказывается слишком большой. Поэтому существует еще более мелкая единица емкости, именуемая пикофарадой (сокращенно пФ), представляющая собой миллионную долю микрофарады, т. е. 0,000 001 мкФ; 1 мкФ = 1 000 000 пФ.

Все конденсаторы, будь то постоянные или переменные, характеризуются прежде всего их емкостями, выраженными соответственно в пикофарадах, микрофарадах.

На принципиальных схемах емкость конденсаторов от 1 до 9999 пФ указывают целыми числами, соответствующими их емкостям в этих единицах без обозначения пФ, а емкость конденсаторов от 10 000 пФ и больше — в долях микрофарады или микрофарадах с обозначением мкФ. Вот несколько примеров обозначения емкостей конденсаторов на схемах: С1 47 (47 пФ), С2 3300 (3300 пФ), С3 0,047 мкФ (47 000 пФ), С4 0,1 мкФ, С5 0,47 мкФ, С6 20 мкФ.

Ты уже знаешь, что конденсатор в простейшем виде представляет собой две пластинки, разделенные диэлектриком. Если конденсатор включить в цепь постоянного тока, то ток в этой цепи прекратится. Да это и понятно: через изолятор, которым является диэлектрик конденсатора, постоянный ток течь не может. Включение конденсатора в цепь постоянного тока равнозначно разрыву ее (мы не принимаем во внимание момент включения, когда в цепи появляется кратковременный ток зарядки конденсатора). Иначе ведет себя конденсатор в цепи переменного тока. Вспомни: полярность напряжения на зажимах источника переменного тока периодически меняется. Значит, если включить конденсатор в цепь, питаемую от такого источника тока, его обкладки будут попеременно перезаряжаться с частотой этого тока. В результате в цепи будет протекать переменный ток.

Конденсатор подобно резистору и катушке оказывает переменному току сопротивление, но разное для токов различных частот. Он может хорошо пропускать токи высокой частоты и одновременно быть почти изолятором для токов низкой частоты. Радиолюбители, например, иногда вместо наружных антенн используют провода электроосветительной сети, подключая приемники к ним через конденсатор емкостью 220...510 пФ. Случайно ли выбрана такая емкость конденсатора? Нет! Конденсатор такой емкости хорошо пропускает токи высокой частоты, необходимые для работы приемника, но оказывает большое сопротивление переменному току частотой 50 Гц, текущему в сети. В этом случае конденсатор становится своеобразным фильтром, пропускающим ток высокой частоты и задерживающим ток низкой частоты.

Емкостное сопротивление конденсатора переменному току зависит от его емкости и частоты тока: чем больше емкость конденсатора и частота тока, тем меньше его емкостное сопротивление. Это сопротивление конденсатора можно с достаточной точностью определить по такой упрощенной формуле:

$R_C = 1/6fC$, где R_C — емкостное сопротивление конденсатора, Ом; f — частота тока, Гц; C — емкость данного конденсатора, Ф; цифра 6 — округленное до целых единиц значение 2π (точнее 6,28, так как $\pi = 3,14$).

Пользуясь этой формулой, давай узнаем, как ведет себя конденсатор по отношению к переменным токам, если применить провода электросети в качестве антенны. Допустим, что емкость этого конденсатора 500 пФ (500 пФ = 0,0000000005 Ф). Частота тока электросети 50 Гц. За среднюю несущую частоту радиостанции примем 1 МГц (1 000 000 Гц), что соответствует волне длиной 300 м. Какое сопротивление оказывает этот конденсатор радиочастоте?

$R_C = 1/(6 \cdot 1\,000\,000 \cdot 0,0000000005) \approx 300$ Ом.

А переменному току электросети?

$R_C = 1/(6 \cdot 50 \cdot 0,0000000005) \approx 7$ МОм.

Следовательно, конденсатор емкостью 500 пФ оказывает току высокой частоты в 20 000 раз меньшее сопротивление, чем току низкой частоты. Убедительно? Конденсатор меньшей емкости оказывает переменному току сети еще большее сопротивление.

Запомни: емкостное сопротивление конденсатора переменному току уменьшается с увеличением его емкости и частоты тока и, наоборот, увеличивается с уменьшением его емкости и частоты тока.

Свойство конденсатора не пропускать постоянный ток и проводить по-разному переменные токи различных частот используют для разделения пульсирующих токов на их составляющие, задержания токов одних частот и пропускания токов других частот. Этим свойством конденсаторов ты будешь часто пользоваться в своих конструкциях.

Разновидностей конденсаторов постоянной емкости, выпускаемых нашей промышленностью, много. В зависимости от используемого в них диэлектрика различают конденсаторы керамические, слюдяные, бумажные, металлобумажные, оксидные (электролитические). Основных характеристик, по которым судят о пригодности конденсаторов для тех или иных целей, три: номинальная емкость, т. е. емкость, указанная на корпусе данного конденсатора, номинальное напряжение и допустимое отклонение (в процентах) от номинальной емкости. Номинальным называют такое напряжение постоянного тока, которое конденсатор может длительное время выдерживать не изменяя своих характеристик. Превышение номинального (иногда называют рабочим) напряжения ведет к сокращению срока работы конденсатора и даже пробою его диэлектрика.

В нашей стране действует система сокращенного обозначения конденсаторов и их основных характеристик, состоящая из буквенных и цифровых индексов, например: К10П-1, К50-6. Первый индекс системы обозначения — буква К — начальная буква слова «конденсатор». Второй индекс — двухзначное число, характеризующее конденсаторы по виду диэлектрика, например: 10 — керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В; 31 — слюдяные малой мощности; 40 — бумажные с обкладками из фольги (номинальное напряжение ниже 1600 В); 50 — оксидные алюминиевые. Третий индекс — буква, характеризующая назначение конденсатора; П — для работы в цепях постоянного и переменного токов; Ч — для работы в цепях переменного тока. Четвертый индекс — порядковый номер варианта конденсаторов одной группы по виду диэлектрика.

Зная эту систему буквенно-цифровых индексов, нетрудно составить представление об основных характеристиках того или иного конденсатора. Например: К10П-1 — конденсатор постоянной емкости (индекс К), керамический на номинальное напряжение ниже 1600 В (индекс 10) предназначен для работы в цепях постоянного и переменного токов (индекс П), первый вариант разработки (четвертый индекс — цифра 1); К50-6 — конденсатор (К) оксидный алюминиевый (50) для печатного монтажа.

Вместе с тем продолжает действовать и ранее принятая упрощенная система буквенной маркировки конденсаторов по виду диэлектрика и конструктивному выполнению. Например: КТК — конденсатор трубчатый керамический; КСО — конденсатор слюдяной опрессованный; БМ — бумажный малогабаритный.

Как устроены конденсаторы постоянной емкости?

Внешний вид некоторых керамических конденсаторов постоянной емкости показан на рис. 61. У них диэлектриком служит специальная керамика, обкладками — тонкие слои посеребренного металла, нанесенные на поверхности

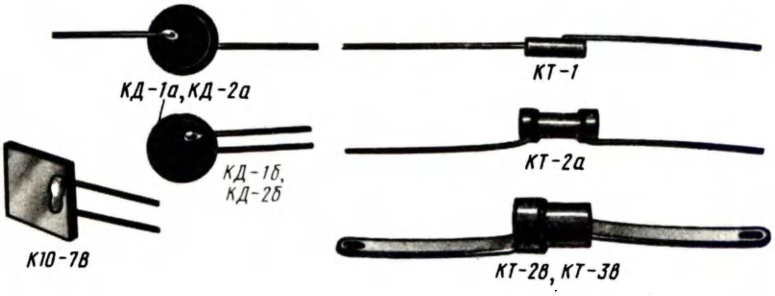


Рис. 61. Дисковые и трубчатые керамические конденсаторы

керамики, а выводами — латунные посеребренные проволочки или полоски, припаянные к обкладкам. Сверху корпуса конденсаторы покрыты эмалью.

Наиболее распространены дисковые керамические конденсаторы КД-1, К10-7 и трубчатые КТ-1, КТ-2. У конденсаторов типа КТ одна обкладка нанесена на внутреннюю, а вторая — на внешнюю поверхность тонкостенной керамической трубочки. Иногда трубчатые конденсаторы помещают в герметичные фарфоровые «футлярчики» с металлическими колпачками на концах. Это конденсаторы типа КГК.

Керамические конденсаторы обладают сравнительно небольшими емкостями — до нескольких тысяч пикофарад. Их ставят в те цепи, в которых течет ток высокой частоты (цепь антенны, колебательный контур), для связи между ними.

Чтобы получить конденсатор небольших размеров, но обладающий относительно большой емкостью, его делают не из двух, а из нескольких пластин, сложенных в стопку и отделенных друг от друга диэлектриком (рис. 62). В этом случае каждая пара расположенных рядом пластин образует конденсатор. Соединяя эти пары пластин параллельно, получают конденсатор значительной емкости. Так устроены все конденсаторы со слюдяным диэлектриком. Их пластинками-обкладками служат листочки из алюминиевой фольги или слои серебра, нанесенные непосредственно на слюду, а выводами — отрезки посеребренной проволоки. Такие конденсаторы опрессованы пластмассой. Это конденсаторы КСО. В их обозначении есть цифра, характеризующая форму и размеры конденсаторов, например: КСО-1, КСО-5. Чем больше значение цифры, тем больше размеры конденсатора. Некоторые слюдяные конденсаторы выпускают в керамических влагонепроницаемых корпусах. Их называют конденсаторами типа СГМ.

Емкость слюдяных конденсаторов бывает от 47 до 50 000 пФ (0,5 мкФ). Как и керамические, они предназначены для высокочастотных цепей, а также для использования в качестве блокировочных и для связи между высокочастотными цепями.

В бумажных конденсаторах (рис. 63) диэлектриком служит специально обработанная тонкая бумага, а обкладками — фольга. Полоски бумаги вместе с обкладками свертывают в ру-

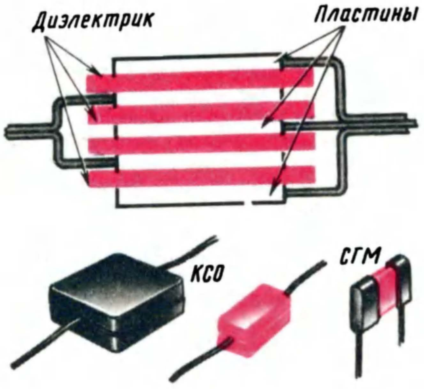


Рис. 62. Слюдяные конденсаторы

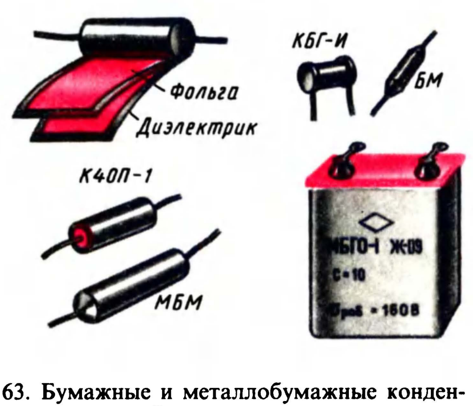


Рис. 63. Бумажные и металлобумажные конденсаторы постоянной емкости

лон и помещают в картонный или металлический корпус. Чем шире и длиннее обкладки, тем больше емкость конденсатора.

Бумажные конденсаторы применяют главным образом в низкочастотных цепях, а также для блокировки источников питания.

Конденсаторы БМ заключают в металлические трубочки, которые с торцов заливают специальной смолой. Конденсаторы К40П-1 (КБ) имеют картонные цилиндрические корпуса. У конденсаторов КБГ-И фарфоровые корпуса с металлическими торцовыми колпачками, соединенными с обкладками, от которых отходят узкие выводные лепестки.

Диэлектриком конденсаторов типа МБМ (Металлобумажный Малогабаритный) служит лакированная конденсаторная бумага, а обкладками — слои металла толщиной меньше микрона, нанесенные на одну сторону бумаги. Характерная особенность конденсаторов этого типа — способность самовосстанавливаться после электрического пробоя диэлектрика.

Номиналы керамических, слюдяных, бумажных, металлобумажных конденсаторов постоянной емкости, выпускаемых нашей промышленностью, сведены в таблицу приложения 3.

Особую группу конденсаторов постоянной емкости составляют оксидные конденсаторы (рис. 64). По внутреннему устройству оксидный конденсатор несколько напоминает бумажный. В нем имеются две ленты из алюминиевой фольги. Поверхность одной из них покрыта тончайшим слоем окиси. Между алюминиевыми лентами проложена лента из пористой бумаги, пропитанной специальной густой жидкостью — электролитом. Эту четырехслойную полосу скатывают в рулон и помещают в алюминиевый цилиндрический стакан или патрончик.

Диэлектриком конденсатора служит слой окиси. Положительной обкладкой (анодом) служит та деталь, которая имеет слой окиси. Она соединяется с изолированным от корпуса выводным лепестком. Вторая, отрицательная обкладка (катод) — бумага, пропитанная электролитом через ленту, на которой нет слоя окиси, соединяется с металлическим корпусом. Таким образом, корпус является выводом отрицательной, а изолированный от него лепесток — выводом положительной обкладки оксидного конденсатора. Так, в частности, устроены конденсаторы типов КЭ, К50-3. Конденсаторы КЭ-2 отличаются от конденсаторов КЭ только пластмассовой втулкой с резьбой и гайкой для крепления на панели. Алюминиевые корпуса конденсаторов К50-3 имеют форму патрончика диаметром 4,5...6 и длиной 15...20 мм. Выводы — проволочные. Аналогично устроены и конденсаторы К50-6. Но у них выводы электродов (обкладок) изолированы от корпусов.

Оксидные конденсаторы обладают большими емкостями — от долей до нескольких тысяч микрофарад. Они предназначены для работы в цепях с пульсирующими токами, например в фильтрах выпрямителей переменного тока, для связи между низкочастотными цепями. При этом отрицательный электрод конденсатора соединяют с отрицательным полюсом цепи, а положительный — с ее положительным полюсом. При несоблюдении полярности включения оксидный конденсатор может выйти из строя.

Номинальные емкости и номинальные напряжения оксидных конденсаторов пишут на их корпусах. Фактическая же емкость может быть значительно больше номинальной.

Оксидные конденсаторы выпускают на номинальные напряжения от нескольких вольт до 30...50 В и от 150 до 450...500 В. В связи с этим их подразделяют на две группы: низковольтные и высоковольтные. Конденсаторы первой группы используют в цепях со сравнительно небольшим напряжением, а конденсаторы второй группы — в цепях с относительно высоким напряжением.

На принципиальных схемах оксидные конденсаторы изображают так же, как другие конденсаторы постоянной емкости, — двумя черточками, но возле положительной обкладки ставят знак «+». Здесь же указывают его номинальную емкость и номинальное напряжение, например: С3 20 мкФ × 15 В.

Подбирая конденсаторы для своих конструкций, всегда обращай внимание на их номинальные напряжения. В цепи с меньшим напряжением, чем номинальное, конденсаторы включать можно, но в цепи с напряжением, превышаю-

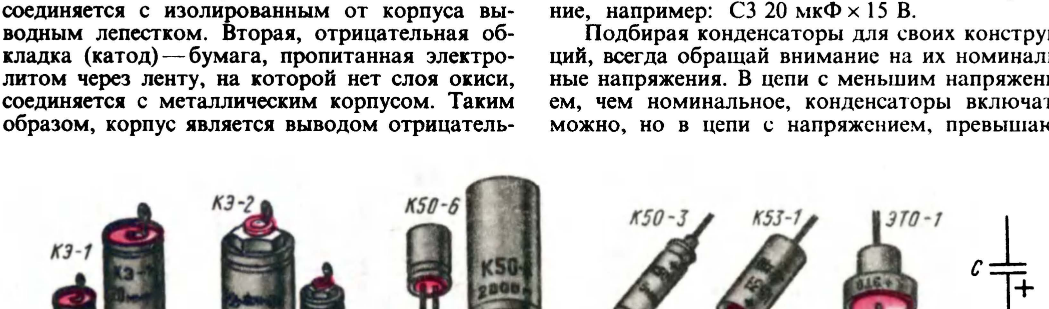


Рис. 64. Оксидные конденсаторы

щим номинальное, их включать нельзя. Если на обкладках конденсатора окажется напряжение, превышающее его номинальное напряжение, то диэлектрик пробьется. Пробитый конденсатор непригоден для работы.

Конденсаторы постоянной емкости, как и резисторы, можно соединять параллельно или последовательно. К соединению конденсаторов прибегают чаще всего в тех случаях, когда под руками нет конденсаторов нужного номинала, но имеются другие, из которых можно составить необходимую емкость. Если конденсаторы соединять параллельно (рис. 65, *а*), то их общая емкость будет равна сумме емкостей всех соединенных конденсаторов, т. е.

$C_{общ} = C1 + C2 + C3$ и т. д.

Так если $C1 = 33$ пФ и $C2 = 47$ пФ, то общая емкость этих двух конденсаторов будет: $C_{общ} = 33 + 47 = 80$ пФ.

При последовательном соединении конденсаторов (рис. 65, *б*) их общая емкость всегда меньше наименьшей емкости, включенной в цепочку. Она подсчитывается по формуле

$C_{общ} = C1 \cdot C2/(C1 + C2)$.

Например, допустим, что $C1 = 220$ пФ, а $C2 = 330$ пФ; тогда $C_{общ} = 220 \cdot 330/(220 + 330) = 132$ пФ. Когда соединяют последовательно два конденсатора одинаковой емкости, их общая емкость будет вдвое меньше емкости каждого из них.

Теперь о конденсаторах переменной емкости.

Устройство простейшего конденсатора переменной емкости ты видишь на рис. 66. Одна его обкладка — статор — неподвижна. Вторая — ротор — скреплена с осью. При вращении оси площадь перекрытия обкладок, а вместе с нею и емкость конденсатора изменяются.

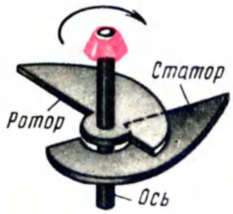


Рис. 66. Простейший конденсатор переменной емкости

Конденсаторы переменной емкости, применяемые в настраиваемых колебательных контурах приемников, состоят из двух групп пластин (рис. 67, *а*), сделанных из листового алюминия или латуни. Пластины ротора соединены осью. Статорные пластины также соединены и изолированы от ротора. При вращении оси пластины статорной группы постепенно входят в воздушные зазоры между пластинами роторной группы, отчего емкость конденсатора плавно изменяется. Когда пластины ротора полностью выведены из зазоров между пластинами статора, емкость конденсатора наименьшая; ее называют начальной емкостью конденсатора. Когда роторные пластины полностью введены между пластинами статора, емкость конденсатора будет наибольшей, т. е. максимальной для данного конденсатора. Максимальная емкость конденсатора будет тем больше, чем больше в нем пластин и чем меньше расстояние между подвижными и неподвижными пластинами.

В конденсаторах, показанных на рис. 66 и 67, *а*, диэлектриком служит воздух. В малогабаритных же конденсаторах переменной емкости (рис. 67, *б*) диэлектриком может быть бумага, пластмассовые пленки, керамика. Такие конденсаторы называют конденсаторами переменной емкости с твердым диэлектриком. При меньших размерах, чем конденсаторы с воздушным диэлектриком, они могут иметь значительные максимальные емкости. Именно такие конденсаторы и применяют для настройки

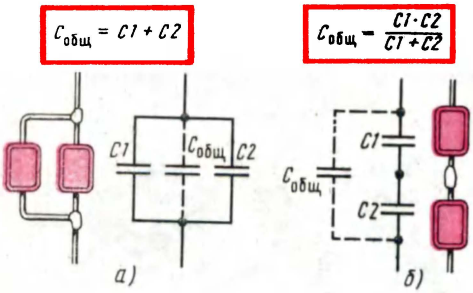


Рис. 65. Параллельное (*а*) и последовательное (*б*) соединение конденсаторов

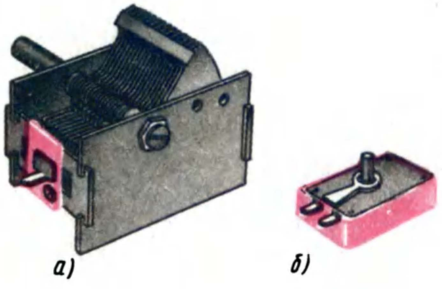


Рис. 67. Конденсаторы переменной емкости с воздушным диэлектриком (*а*) и твердым диэлектриком (*б*)

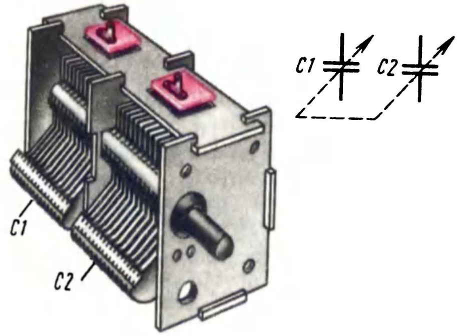


Рис. 68. Одна из конструкций блока конденсаторов переменной емкости

колебательных контуров малогабаритных транзисторных приемников.

Наиболее распространены конденсаторы переменной емкости, имеющие начальную емкость в несколько пикофарад и наибольшую 240...490 пФ. Не исключено, что один из таких конденсаторов ты уже использовал для настройки твоего первого радиоприемника.

В приемниках с двумя настраивающимися колебательными контурами используют блоки конденсаторов переменной емкости (КПЕ). В блоке КПЕ, показанном на рис. 68, имеются два конденсатора, роторы которых имеют общую ось. При вращении оси одновременно изменяются емкости обоих конденсаторов.

Одиночные конденсаторы и блоки конденсаторов переменной емкости с воздушным диэлектриком требуют к себе бережного отношения. Даже незначительное искривление или иное повреждение пластин приводит к замыканию между ними. Исправление же пластин конденсатора — дело сложное.

К числу конденсаторов с твердым диэлектриком относятся и подстроечные конденсаторы, являющиеся разновидностью конденсаторов переменной емкости. Чаще всего такие конденсаторы используют для подстройки контуров в резонанс, поэтому их называют подстроечными.

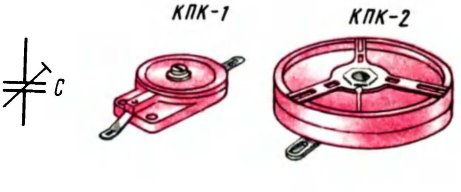


Рис. 69. Подстроечные конденсаторы и их графическое обозначение

Конструкции наиболее распространенных подстроечных конденсаторов показаны на рис. 69. Каждый из них состоит из сравнительно массивного керамического основания и тонкого керамического диска. На поверхность основания (под диском) и на диск нанесены в виде секторов металлические слои, являющиеся обкладками конденсатора. При вращении диска вокруг оси изменяется площадь перекрытия секторов-обкладок, изменяется емкость конденсатора.

Емкость подстроечных конденсаторов указывают на их корпусах в виде дробного числа, где числитель — наименьшая, а знаменатель — наибольшая емкость данного конденсатора. Если, например, на конденсаторе указано 6/30, то это значит, что наименьшая его емкость 6 пФ, а наибольшая 30 пФ. Подстроечные конденсаторы обычно имеют наименьшую емкость 2...5 пФ, а наибольшую до 100...150 пФ. Некоторые из них, например КПК-2, можно использовать в качестве конденсаторов переменной емкости для настройки простых одноконтурных приемников, о чем я расскажу позже.

МАРКИРОВКА МАЛОГАБАРИТНЫХ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

На резисторах и конденсаторах относительно больших размеров их номинальные сопротивления или емкости маркируют, применяя общепринятые сокращенные обозначения единиц электрических величин, а рядом — возможное отклонение от номинала в процентах, например: 470 ± 10%, 33 ± 20%. Для обозначения же этих параметров малогабаритных резисторов и конденсаторов применяют специальный код, слагающийся из условных буквенных и цифровых знаков.

По такой системе единицу сопротивления ом сокращенно обозначают буквой Е, килоом — буквой К, мегаом — буквой М. Сопротивления резисторов от 100 до 910 Ом выражают в долях килоома, а сопротивления от 100 000 до 910 000 Ом — в долях мегаома. Если номинальное сопротивление резистора выражают целым числом, то буквенное обозначение единицы измерения ставят после этого числа, например: 33Е (33 Ом), 47К (47 кОм), 1 М (1 МОм). Когда же сопротивление резистора выражают десятичной дробью меньше единицы, то буквенное обозначение единицы измерения располагают перед числом, например: К22 (220 Ом), М47 (470 кОм). Выражая сопротивление резистора целым числом с десятичной дробью, целое число ставят впереди буквы, а десятичную дробь — после буквы, символизирующей единицы измерения (буква заменяет запятую после целого числа). Примеры: 1Е5 (1,5 Ом), 2К2 (2,2 кОм), 1М5 (1,5 МОм).

Допустимое отклонение наносят после обозначения номинального сопротивления следующими буквами:

Допуск, %	±20	±10	±5
Маркировка	В	С	И

Предположим, на малогабаритном резисторе обозначено: 1М5И. Это значит, что его номинальное сопротивление 1,5 МОм, допустимое отклонение от номинала ±5%.

Номинальные емкости конденсаторов до 91 пФ выражают в пикофарадах, используя для обозначения этой единицы емкости букву П. Емкости от 100 до 9100 пФ выражают в долях нанофарады (1 нФ = 1000 пФ или 0,001 мкФ), а от 0,01 до 0,091 мкФ — в нанофарадах, обозначая нанофараду буквой Н. Емкости от 0,1 мкФ и больше выражают в микрофарадах, используя для обозначения этой единицы емкости букву М. Если емкость конденсатора выражают целым числом, то буквенное обозначение емкости ставят после этого числа, например: 12П (12 пФ), 15Н (15 НФ = 15 000 пФ или 0,015 мкФ), 10М (10 мкФ).

Чтобы номинальную емкость конденсатора выразить десятичной дробью, буквенное обозначение единицы емкости располагают перед числом: Н15 (0,15 нФ = 150 пФ), М22 (0,22 мкФ). Для выражения емкости конденсатора целым числом с десятичной дробью буквенное обозначение единицы ставят между целым числом и десятичной дробью, заменяя ею запятую, например: 1П2 (1,2 пФ), 4Н7 (4,7 нФ = 4700 пФ), 1М5 (1,5 мкФ).

Допустимое отклонение маркируют после обозначения номинальной емкости цифрами в процентах, пикофарадах или буквенным кодом, который приводим здесь в сокращенном виде:

Допуск, %	±30	±20	±10	±5	±2	±1
Маркировка	Ф	В	С	И	Л	Р

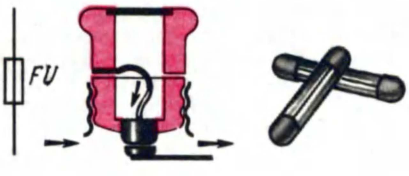


Рис. 70. Плавкие предохранители

Вот несколько примеров обозначения параметров малогабаритных конденсаторов: 1Н5В (1500 пФ, допуск ±20%), 5П6Л (5,6 пФ, допуск ±2%), 1М5Ф (1,5 мкФ, допуск ±30%).

Не исключено, что тебе уже приходилось видеть постоянные резисторы, «украшенные» разноцветными поясками или точками на корпусах. Это тоже система условного обозначения параметров резисторов, введенная в нашей стране сравнительно недавно. Разобраться в ней тебе поможет приложение 4, которое найдешь в конце книги.

КОРОТКО О ПЛАВКОМ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕ

Этот прибор представляет собой отрезок проволоки, толщина которой рассчитана на пропускание тока некоторого определенного значения, например 0,25 А. Он предохраняет источник тока от перегрузки. Предохранители имеют все электросети, иногда штепсельные розетки, радиоконструкции, питающиеся от электроосветительной сети.

Плавкий предохранитель вставляют в разрыв электрической цепи, чтобы через него проходил весь ток, потребляемый нагрузкой этой цепи. Пока ток не превышает допустимой нормы, проволока предохранителя чуть теплая или совсем холодная. Но как только в цепи появится недопустимо большая нагрузка или произойдет короткое замыкание, ток резко возрастет, расплавит проволоку и цепь автоматически разорвется. Патрон плавкого предохранителя, используемого в осветительной электросети, устроен так же, как патрон электролампы. В него ввертывают фарфоровую «пробку» (рис. 70 — слева), внутри которой имеется свинцовая проволока. Один конец ее припаян к металлическому донышку пробки, а другой — к металлическому цилиндру с резьбой, которым предохранитель ввертывают в патрон.

Проволока плавкого предохранителя радиоконструкции (на рис. 70 — справа) заключена в стеклянную трубочку и концами припаяна к металлическим колпачкам, выполняющим роль контактов. Этими контактами предохранитель вставляют в специальный патрон (держатель) или между двумя металлическими стоечками, к которым подведены провода защищаемой от перегрузок сети.

Причину, вызвавшую перегорание предохранителя, надо найти, устранить, и только после этого, соблюдая осторожность, можно вставлять в электрическую цепь новый предохранитель.

ОСТОРОЖНО — ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ!

Да, юный друг, всегда, когда приходится иметь дело с электросетью, надо быть особенно внимательным, осторожным и никогда не забывать о действующем в ней опасном высоком напряжении.

Иногда, балуясь или хвастая, ребята касаются рукой оголенного провода или контактов штепсельной розетки. Вроде ничего опасного. Но может случиться непоправимое, потому что электросеть не любит шуток. «Эффект» такого «опыта» всецело зависит от электрического сопротивления тела человека и изоляции его от земли, влажности пола, на котором он стоит. У разных людей в разном возрасте и при различном состоянии всего организма электрическое сопротивление тела может быть от тысячи до нескольких десятков тысяч ом. И если человек со сравнительно небольшим сопротивлением тела коснется провода электросети, через него может пройти значительный ток, который может стать причиной электрической травмы.

Простой расчет: если напряжение сети 220 В, а сопротивление тела 22 кОм, то ток по закону Ома будет равен 220 : 22 000 = 0,01 А. Такой ток для человека опасен, но не смертелен. А если сопротивление мало — всего 2,2 кОм? Тогда ток возрастет до 220 : 2200 = 0,1 А. Такой ток уже смертельно опасен!

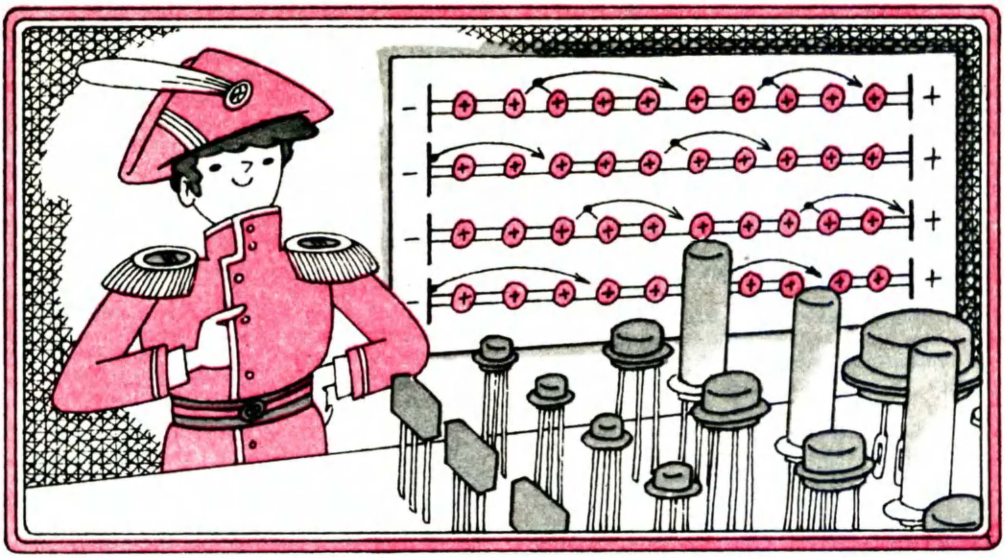
Как предотвратить неприятности, которые может причинить электросеть?

Прежде всего — *никогда, ни при каких условиях, не касайся руками оголенных участков проводов электроосветительной сети, монтажа или контактных соединений монтируемой или налаживаемой аппаратуры, питающейся от сети. А если понадобится заизолировать провод, улучшить контакты штепсельной розетки, делай это только после обесточивания сети выключателем на квартирном электрораспределительном щитке.*

При налаживании приемника или усилителя с питанием от сети щуп измерительного прибора (или инструмент) держи одной рукой во избежание прикосновения токонесущих проводников обеими руками. Прежде чем заменить испортившуюся деталь или внести изменения в монтаж, полностью отключи приемник, усилитель или питающий их выпрямитель от сети.

* * *

На этом я прерываю беседу. Но «экскурсия» в электротехнику еще не закончена. Впереди — другие электрические явления, закономерности и приборы, с которыми тебе придется иметь дело.



БЕСЕДА ПЯТАЯ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Ты, юный друг, современник технической революции во всех областях радиоэлектроники. Суть ее заключается в том, что на смену электронным лампам, многие десятилетия занимавшим доминирующее положение в радиоаппаратуре различного назначения, пришли транзисторы, а их теперь все больше теснят полупроводниковые приборы новейшего поколения — микросхемы. Предком одного из наиболее характерных представителей «армии» усилительных полупроводниковых приборов — транзистора — был так называемый генерирующий детектор, изобретенный еще в 1922 г. нашим соотечественником О. В. Лосевым. Этот прибор, представлявший собой кристалл полупроводника с двумя примыкающими к нему проволочками-проводниками, при определенных условиях мог генерировать и усиливать электрические колебания. Но он тогда из-за несовершенства не мог конкурировать с электронной лампой. Достойного полупроводникового соперника электронной лампе, названного транзистором, создали в 1948 г. американские ученые Браттейн, Бардин и Шокли. В нашей стране большой вклад в разработку полупроводниковых приборов внесли А. Ф. Иоффе, Л. Д. Ландау, Б. И. Давыдова, В. Е. Лошкарев и ряд других ученых и инженеров, многие научные коллективы.

Чтобы понять сущность явлений, происходящих в современных полупроводниковых приборах, нам придется «заглянуть» в структуру полупроводника, разобраться в причинах образования в нем электрического тока. Но перед этим хорошо бы тебе вспомнить ту часть первой беседы, где я рассказывал о строении атомов.

ПОЛУПРОВОДНИКИ И ИХ СВОЙСТВА

Напомню: по электрическим свойствам полупроводники занимают среднее место между проводниками и непроводниками тока. К сказанному добавлю, что к группе полупроводников относятся гораздо больше веществ, чем к группам проводников и непроводников, взятых вместе. К полупроводникам, нашедшим практическое применение в технике, относятся германий, кремний, селен, закись меди и некоторые другие вещества. Но для полупроводниковых приборов используют главным образом германий, кремний и арсенид галлия.

Каковы наиболее характерные свойства полупроводников, отличающие их от проводников и непроводников тока? Электропроводность полупроводников сильно зависит от окружающей температуры. При очень низкой температуре, близкой к абсолютному нулю (−273° С), они ведут себя по отношению к электрическому току как изоляторы. Большинство же проводников, наоборот, при такой температуре становятся сверхпроводниками, т. е. почти не оказывают току никакого сопротивления. С повышением температуры проводников их сопротивление электрическому току увеличивается, а сопротивление полупроводников уменьшается. Электропроводность проводников не изменяется при действии на них света. Электропроводность же полупроводников под действием света, так называемая фотопроводность, повышается. Полупроводники могут преобразовывать энергию света в электрический ток. Проводникам же это совершенно не свойственно. Электропроводность полупроводников резко увеличивается при введении в них атомов некоторых других элементов. Электропроводность же проводников при введении в них примесей ухудшается. Эти и некоторые другие свойства полупроводников были известны довольно давно, однако широко использовать их стали сравнительно недавно.

Германий и кремний, являющиеся исходными материалами многих современных полупроводниковых приборов, имеют во внешних слоях своих оболочек по четыре валентных электрона. Всего же в атоме германия 32 электрона, а в атоме кремния 14. Но 28 электронов атома германия и 10 электронов атома кремния, находящиеся во внутренних слоях их оболочек, прочно удерживаются ядрами и ни при каких обстоятельствах не отрываются от них. Только четыре валентных электрона атомов этих полупроводников могут, да и то не всегда, стать свободными. Запомни: четыре! Атом же полупроводника, потерявший хотя бы один электрон, становится положительным ионом.

В полупроводнике атомы расположены в строгом порядке: каждый атом окружен четырьмя такими же атомами. Они к тому же расположены настолько близко друг к другу, что их валентные электроны образуют единые орбиты, проходящие вокруг всех соседних атомов, связывая их в единое вещество. Такую взаимосвязь атомов в кристалле полупроводника можно представить себе в виде плоской схемы, как показано на рис. 71. Здесь большие шарики со знаком «+» условно изображают ядра атомов с внутренними слоями электронной оболочки (положительные ионы), а маленькие шарики — валентные электроны. Каждый атом, как видишь, окружен четырьмя точно такими же атомами. Любой из атомов связан с каждым соседним двумя валентными электронами, один из которых «свой», а второй заимствован у «соседа». Это двухэлектронная, или валентная, связь. Самая прочная связь!

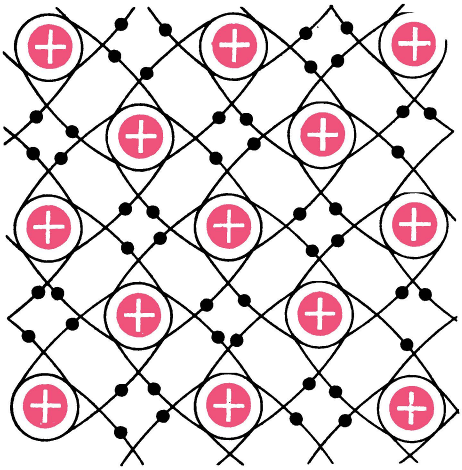


Рис. 71. Схема взаимосвязи атомов в кристалле полупроводника

В свою очередь, внешний слой электронной оболочки каждого атома содержит восемь электронов: четыре своих и по одному от четырех соседних атомов. Здесь уже невозможно различить, какой из валентных электронов в атоме «свой», а какой «чужой», поскольку они сделались общими. При такой связи атомов во всей массе кристалла германия или кремния можно считать, что кристалл полупроводника представляет собой одну большую молекулу.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКА

Схему взаимосвязи атомов в полупроводнике можно для наглядности упростить, изобразив ее так, как это сделано на рис. 72. Здесь ядра атомов с внутренними электронными оболочками показаны в виде кружков со знаком плюс, а межатомные связи — двумя линиями, символизирующими валентные электроны. При температуре, близкой к абсолютному нулю, полупроводник ведет себя как абсолютный непроводник, потому что в нем нет свободных электронов. Но при повышении температуры

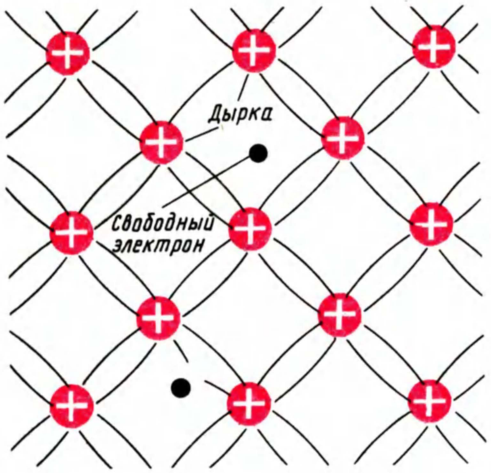


Рис. 72. Упрощенная схема структуры полупроводника

связь валентных электронов с атомными ядрами ослабевает и некоторые из них вследствие теплового движения могут покидать свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится свободным (на рис. 72 — черные точки), а там, где он был до этого, образуется пустое место. Это пустое место в межатомной связи полупроводника условно называют дыркой (на рис. 72 — разорвавшиеся линии электронов). Чем выше температура полупроводника, тем больше в нем появляется свободных электронов и дырок. Таким образом, образование в массе полупроводника дырки связано с уходом из оболочки атома валентного электрона, а возникновение дырки соответствует появлению положительного электрического заряда, равного отрицательному заряду электрона.

А теперь рассмотри рис. 73. На нем схематично изображено явление возникновения тока в полупроводнике. Причиной возникновения тока служит напряжение, приложенное к полупроводнику (на рис. 73 источник напряжения символизируют знаки «+» и «−»). Вследствие тепловых явлений во всей массе полупроводника высвобождается из межатомных связей некоторое количество электронов (на рис. 73 они обозначены точками со стрелками). Электроны, освободившиеся вблизи положительного полюса источника напряжения, притягиваются этим полюсом и уходят из массы полупроводника, оставляя после себя дырки. Электроны, ушедшие из межатомных связей, на некотором удалении от положительного полюса тоже притягиваются им и движутся в его сторону. Но, встретив на своем пути дырки, электроны как бы «впрыгивают» в них (рис. 73, *а*), происходит заполнение некоторых межатомных связей. А ближние к отрицательному полюсу дырки заполняются другими электронами, вырвавшимися из атомов, расположенных еще ближе к отрицательному полюсу (рис. 73, *б*). Пока в полупроводнике действует электрическое поле, этот процесс продолжается: нарушаются одни межатомные связи — из них уходят валентные электроны, возникают дырки — и за-

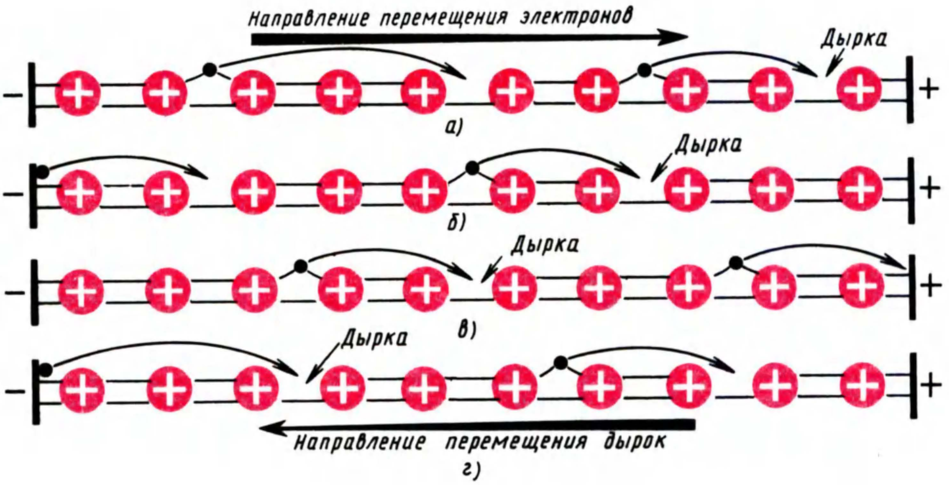

Направление перемещения электронов
Дырка
−
+
а)
Дырка
б)
Дырка
в)
Дырка
Направление перемещения дырок
г)

Рис. 73. Схема движения электронов и дырок в полупроводнике

полняются другие межатомные связи — в дырки «впрыгивают» электроны, освободившиеся из каких-то других межатомных связей (рис. 73, *б — г*).

Рассматривая эти схемы, ты, конечно, заметил: электроны движутся в направлении от отрицательного полюса источника напряжения к положительному, а дырки перемещаются от положительного полюса к отрицательному. Это явление можно сравнить с такой хорошо знакомой тебе картиной. Стоит пионерский отряд. Несколько ребят вышло из строя: образовались пустые места — дырки. Вожатый подает команду: «Сомкнуть строй!». Ребята по очереди перемещаются вправо, заполняя пустые места. Что получается? Ребята один за другим перемещаются к правому флангу, а пустые места — в сторону левого.

При температуре выше абсолютного нуля в полупроводнике непрерывно возникают и исчезают свободные электроны и дырки даже тогда, когда нет внешних электрических полей. Но электроны и дырки движутся хаотически в разные стороны и не уходят за пределы полупроводника. В чистом полупроводнике число высвободившихся в каждый момент времени электронов равно числу образующихся при этом дырок. Общее же их число при комнатной температуре относительно невелико. Поэтому электропроводность такого полупроводника, называемая собственной, мала. Иными словами, такой полупроводник оказывает электрическому току довольно большое сопротивление. Но если в чистый полупроводник добавить даже ничтожное количество примеси в виде атомов других элементов, электропроводность его резко повысится. При этом в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет электронной или дырочной.

Чем различаются эти два вида электропроводности полупроводника?

Если какой-либо атом в кристалле полупроводника заменить атомом сурьмы, имеющим во внешнем слое электронной оболочки пять валентных электронов, этот атом-«пришелец» четырьмя электронами свяжется с четырьмя соседними атомами полупроводника. Пятый же валентный электрон атома сурьмы окажется «лишним» и станет свободным. Чем больше в полупроводник будет введено атомов сурьмы, тем больше в его массе окажется свободных электронов. Следовательно, полупроводник с примесью сурьмы приближается по своим свойствам к металлу: для того чтобы через него проходил электрический ток, в нем не обязательно должны разрушаться межатомные связи. Полупроводники, обладающие такими свойствами, называют полупроводниками с электропроводностью типа n или, короче, полупроводниками n типа. Здесь латинская буква n — начальная буква латинского слова «negativ» (негатив), что значит «отрицательный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что в полупроводнике типа n основными носителями тока являются отрицательные заряды, т. е. электроны.

Совсем иная картина получится, если в том же полупроводнике имеются атомы с тремя валентными электронами, например атомы индия. Каждый атом металла индия своими тремя электронами заполнит связи только с тремя соседними атомами полупроводника, а для заполнения связи с четвертым атомом у него не хватает одного электрона. Образуется дырка. Она, конечно, может заполниться каким-либо электроном, вырвавшимся из валентной связи с другими атомами полупроводника. Однако независимо от того, где будут дырки, в массе полупроводника с примесью индия не будет хватать электронов для их заполнения. И чем больше будет введено в полупроводник примесных атомов индия, тем больше в нем образуется дырок.

Чтобы в таком полупроводнике электроны могли перемещаться, совершенно обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Вырвавшиеся из них электроны или же электроны, поступившие в полупроводник извне, движутся от дырки к дырке. А во всей массе полупроводника в любой момент времени число дырок будет больше общего числа свободных электронов. Полупроводники, обладающие таким свойством, называют полупроводниками с дырочной электропроводностью или полупроводниками типа p. Латинская буква p — первая буква латинского слова «positiv» (позитив), что значит «положительный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что явление электрического тока в массе полупроводника типа p сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов — дырок. Перемещаясь в массе полупроводника, дырки как бы являются носителями тока.

Полупроводники типа p, как и полупроводники типа n, обладают во много раз лучшей электропроводностью по сравнению с чистыми полупроводниками.

Надо сказать, что практически не существует как совершенно чистых полупроводников, так и полупроводников с абсолютной электропроводностью типов n и p. В полупроводнике с примесью индия обязательно есть небольшое количество атомов некоторых других элементов, придающих ему электронную проводимость, а в полупроводнике с примесью сурьмы есть атомы элементов, создающих в нем дырочную электропроводность. Например, в полупроводнике, имеющем в целом электропроводность типа n, есть дырки, которые могут заполняться свободными электронами примесных атомов сурьмы. Вследствие этого электропроводность полупроводника несколько ухудшится, но в целом он сохранит электронную проводимость. Аналогичное явление будет наблюдаться и в том случае, если в полупроводник с дырочным характером электропроводности попадут свободные электроны. Поэтому полупроводниками типа n принято считать такие полупроводники, в которых основными носителями тока являются электроны (преобладает электронная электропроводность), а полупроводниками типа p — полупроводники, в которых основными носителями тока являются дырки (преобладает дырочная электропроводность).

Теперь, когда ты имеешь некоторое представление о явлениях, происходящих в полупроводниках, тебе нетрудно будет понять принцип действия полупроводниковых приборов.

Начнем с предшественников транзистора — полупроводниковых диодов.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Сегодня в «семейство» диодов входит не один десяток полупроводниковых приборов, носящих название «диод». Но здесь речь пойдет лишь о диодах, с которыми тебе в первую очередь придется иметь дело.

Схематично диод можно представить как две пластинки полупроводника, одна из которых обладает электропроводностью типа p, а другая — типа n. На рис. 74, *а* дырки, преобладающие в пластинке типа p, условно изображены кружками, а электроны, преобладающие в пластинке типа n,— черными шариками таких же размеров. Эти две области — два электрода диода: анод и катод. Анодом, т. е. положительным электродом, является область типа p, а катодом, т. е. отрицательным электродом,— область типа n. На внешние поверхности пластин нанесены контактные металлические слои, к которым припаяны проволочные выводы электродов диода.

Такой полупроводниковый прибор может находиться в одном из двух состояний: открытом, когда он хорошо проводит ток, и закрытом, когда он плохо проводит ток. Если к его электродам подключить источник постоянного тока, например гальванический элемент, но так, чтобы его положительный полюс был соединен с анодом диода, т. е. с областью типа p, а отрицательный — с катодом, т. е. с областью типа n (рис. 74, *б*), то диод окажется в открытом состоянии и в образовавшейся цепи пойдет ток, значение которого зависит от приложенного к нему напряжения и свойств диода. При такой полярности подключения батареи электроны в области типа n перемещаются от минуса к плюсу, т. е. в сторону области типа p, а дырки в области типа p движутся навстречу электронам — от плюса к минусу. Встречаясь на границе областей, называемой электронно-дырочным переходом или, короче, p-n переходом, электроны как бы «впрыгивают» в дырки, в результате и те, и другие при встрече прекращают свое существование. Металлический контакт, соединенный с отрицательным полюсом элемента, может отдать области типа n практически неограниченное количество электронов, пополняя убыль электронов в этой области, а контакт, соединенный с положительным полюсом элемента, может принять из области типа p такое же количество электронов, что равнозначно введению в него соответствующего количества дырок. В этом случае сопротивление p-n перехода мало, вследствие чего через диод идет ток, называемый прямым током. Чем больше площадь p-n перехода и напряжение источника питания, тем больше этот прямой ток.

Если полосы элемента поменять местами, как это сделано на рис. 74, *в*, диод окажется в закрытом состоянии. В этом случае электрические заряды в диоде поведут себя иначе. Теперь, удаляясь от p-n перехода, электроны в области типа n будут перемещаться к положи-

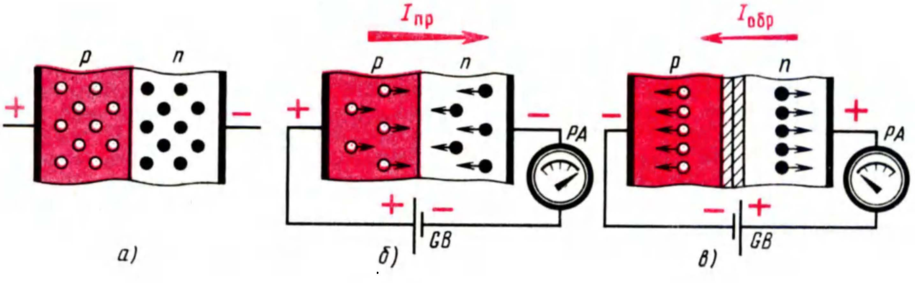


Рис. 74. Схематическое устройство и работа полупроводникового диода

тельному, а дырки в области типа p — к отрицательному контактам диода. В результате граница областей с различными типами электропроводности как бы расширится, образовав зону, обедненную электронами и дырками (на рис. 74, *в* она заштрихована) и, следовательно, оказывающую току очень большое сопротивление. Однако в этой зоне небольшой обмен носителями тока между областями диода все же будет происходить. Поэтому через диод пойдет ток, но во много раз меньший, чем прямой. Этот ток называют обратным током диода.

На графиках, характеризующих работу диода, прямой ток обозначают $I_{\text{пр}}$, а обратный $I_{\text{обр}}$.

А если диод включить в цепь с переменным током? Он будет открываться при положительных полупериодах на аноде, свободно пропуская ток одного направления — прямой ток $I_{\text{пр}}$, и закрываться при отрицательных полупериодах на аноде, почти не пропуская ток противоположного направления — обратный ток $I_{\text{обр}}$. Эти свойства диодов и используют в выпрямителях для преобразования переменного тока в постоянный.

Напряжение, при котором диод открывается и через него идет прямой ток, называют прямым (пишут $U_{\text{пр}}$) или пропускным, а напряжение обратной полярности, при котором диод закрывается и через него идет обратный ток, называют обратным (пишут $U_{\text{обр}}$) или непропускным. При прямом напряжении сопротивление диода хорошего качества не превышает нескольких десятков ом, при обратном же напряжении его сопротивление достигнет десятков, сотен килоом и даже мегаом. В этом нетрудно убедиться, если обратное сопротивление диода измерить омметром.

Внутреннее сопротивление открытого диода — величина непостоянная и зависит от прямого напряжения, приложенного к диоду: чем больше это напряжение, тем больше прямой ток через диод, тем меньше его пропускное сопротивление. Судить о сопротивлении диода можно по падению напряжения на нем и току через него. Так, если через диод идет прямой ток $I_{\text{пр}} = 100$ мА (0,1 А) и при этом на нем падает напряжение 1 В, то (по закону Ома) прямое сопротивление диода будет: $R = U/I = 1/0{,}1 = 10$ Ом.

В закрытом состоянии на диоде падает почти все прикладываемое к нему напряжение, обратный ток через него чрезвычайно мал, а сопротивление, следовательно, велико.

Зависимость тока через диод от значения и полярности приложенного к нему напряжения изображают в виде кривой, называемой вольт-амперной характеристикой диода. Такую характеристику ты видишь на рис. 75. Здесь по вертикальной оси вверх отложены значения прямого тока $I_{\text{пр}}$, а вниз — обратного тока $I_{\text{обр}}$. По горизонтальной оси вправо обозначены значения прямого напряжения $U_{\text{пр}}$, влево — обратного напряжения $U_{\text{обр}}$.

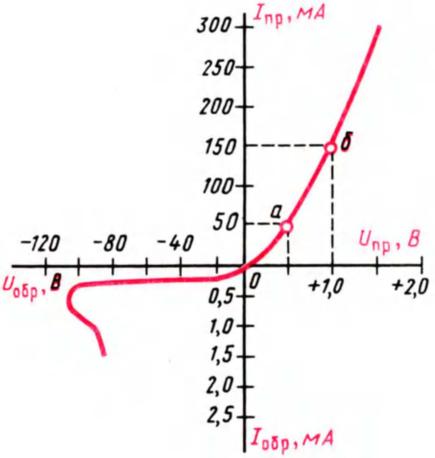


Рис. 75. Вольт-амперная характеристика германиевого диода

На вольт-амперной характеристике диода различают прямую ветвь (в правой верхней части), соответствующую прямому току через диод, и обратную ветвь, соответствующую обратному току. Из нее видно, что ток $I_{\text{пр}}$ диода в сотни раз больше тока $I_{\text{обр}}$. Так, уже при прямом напряжении $U_{\text{пр}} = 0{,}5$ В ток $I_{\text{пр}} = 50$ мА (точка а на характеристике), при $U_{\text{пр}} = 1$ В он возрастает до 150 мА (точка б на характеристике), а при обратном напряжении $U_{\text{обр}} = 100$ В обратный ток $I_{\text{обр}}$ не превышает 0,5 мА (500 мкА). Подсчитай, во сколько раз при одном и том же прямом и обратном напряжении прямой ток больше обратного.

Прямая ветвь идет круто вверх, как бы прижимаясь к вертикальной оси. Она характеризует быстрый рост прямого тока через диод с увеличением прямого напряжения. Обратная же ветвь, как видишь, идет почти параллельно горизонтальной оси, характеризуя медленный рост обратного тока. Наличие заметного обратного тока — недостаток диодов.

Примерно такие вольт-амперные характеристики имеют все германиевые диоды. Вольт-амперные характеристики кремниевых диодов чуть сдвинуты вправо. Объясняется это тем, что германиевый диод открывается и начинает проводить ток при прямом напряжении 0,1...0,2 В, а кремниевый при 0,5...0,6 В.

Прибор, на примере которого я рассказал тебе о свойствах диода, состоял из двух пластин полупроводников разной электропроводности, соединенных между собой плоскостями. Подобные диоды называют плоскостными. В действительности же плоскостной диод представляет собой одну пластину полупроводника, в объеме которой созданы две области разной электропроводности. Технология изготовления таких диодов заключается в следующем. На поверхности квадратной пластинки площадью 2...4 мм^2 и толщиной в несколько долей миллиметра, вырезанной из кристалла полупроводника с электронной электропроводностью, расплавляют маленький кусочек индия. Индий крепко сплавляется с пластинкой. При этом атомы индия проникают (диффундируют) в толщу пластинки, образуя в ней область с преобладанием дырочной электропроводности (рис. 76, *а*). Получается полупроводниковый прибор с двумя областями различного типа электропроводности, а между ними p-n переход. Контактами электродов диода служат капелька индия и металлический диск (или стержень) с выводными проводниками.

Так устроены наиболее распространенные плоскостные германиевые и кремниевые диоды. Внешний вид некоторых из них показан на рис. 76, *б*. Приборы заключены в цельнометаллические корпуса со стеклянными изоляторами, что позволяет использовать их для работы в условиях повышенной влажности. Диоды, рассчитанные на значительные прямые токи, имеют винты с гайками для крепления их на монтажных панелях или шасси радиотехнических устройств.

Плоскостные диоды предназначены в основном для работы в выпрямителях переменного тока блоков питания радиоаппаратуры, поэтому их называют еще выпрямительными диодами.

Конструированию блоков питания радиотехнических устройств от электроосветительной сети будет посвящена специальная беседа — десятая. Сейчас же я познакомлю тебя только с самим принципом преобразования переменного тока в постоянный.

Схему простейшего выпрямителя переменного тока ты видишь на рис. 77, *а*. На вход выпрямителя подается переменное напряжение электроосветительной сети. К выходу выпрямителя подключен резистор $R_н$, символизирующий нагрузку, питающуюся от выпрямителя. Функцию выпрямленного элемента выполняет диод VD. Сущность работы такого выпрямителя иллюстрируют графики, помещенные на том же рисунке. При положительных полупериодах напряжения на аноде диод открывается. В эти моменты времени через диод, а значит, и через нагрузку, подключенную к выпрямителю, течет прямой ток диода $I_{пр}$. При отрицательных полупериодах напряжения на аноде диод закрывается и во всей цепи, в которую он включен, течет незначительный обратный ток диода $I_{обр}$. Диод как бы отсекает большую часть отрицательных полуволн переменного тока (на рис. 77, *а* показано штриховыми линиями). И вот результат: через нагрузку $R_н$, подключенную к сети через диод VD, течет уже не переменный, а пульсирующий ток — ток одного направления, но изменяющийся по значению с частотой 50 Гц. Это и есть выпрямление переменного тока. Таким образом, диод является прибором, обладающим резко выраженной односторонней проводимостью электрического тока. И если пренебречь малым обратным током (что и делают на практике), который у исправных диодов не превышает малых долей миллиамперметра, можно считать, что диод является односторонним проводником тока.

Можно ли таким током питать нагрузку? Можно, он ведь выпрямленный. Но не каждую. Лампу накаливания, например, можно, если, конечно, выходное напряжение не будет пре-

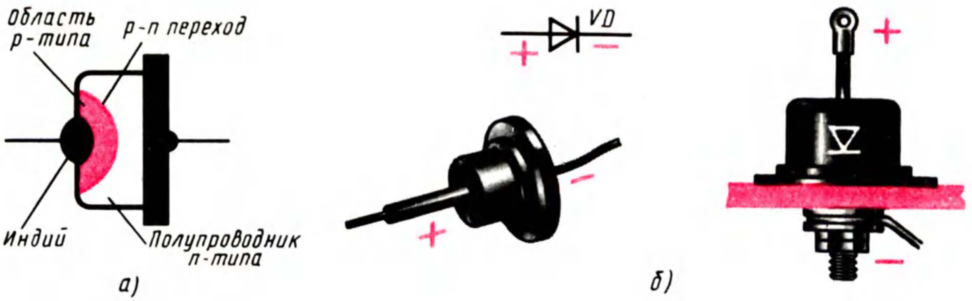


Рис. 76. Схематическое устройство (*а*) и внешний вид некоторых плоскостных диодов (*б*)

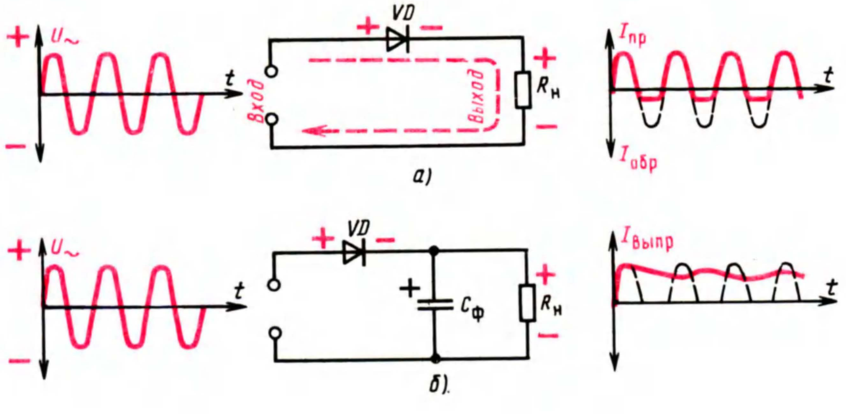


Рис. 77. Однополупериодный выпрямитель и графики, иллюстрирующие его работу

вышать то напряжение, на которое лампа рассчитана. Ее нить будет накаливаться не постоянно, а импульсами, следующими с частотой 50 Гц. Из-за тепловой инертности нить не будет успевать остывать в промежутки между импульсами, поэтому никаких мерцаний света мы не заметим.

А вот приемник питать таким током нельзя, потому что в цепях его усилительных приборов ток тоже будет пульсировать с такой же частотой. В результате в телефонах или головке громкоговорителя на выходе приемника будет прослушиваться гул низкого тона с частотой 50 Гц, называемый фоном переменного тока. Этот недостаток можно частично устранить, если на выходе выпрямителя параллельно нагрузке подключить оксидный конденсатор, как это показано на рис. 77, *б*. Такой конденсатор выпрямителя называют фильтрующим. Заряжаясь от импульсов тока, конденсатор $C_ф$ в момент спадания тока или его исчезновения (между импульсами) разряжается через нагрузку $R_н$. Если конденсатор достаточно большой емкости, то за время между импульсами тока он не будет успевать полностью разряжаться и в нагрузке будет непрерывно поддерживаться ток. Ток, поддерживаемый за счет зарядки конденсатора, показан на рис. 77, *б* сплошной волнистой линией. В принципе приемник или усилитель можно питать таким током, но он будет «фонить», так как пульсации тока все еще очень ощутимы.

В таком выпрямителе полезно используется энергия только одной половины периода переменного тока. Такое выпрямление переменного тока называют однополупериодным, а выпрямители — однополупериодными выпрямителями.

Теперь о точечном диоде.

Внешний вид одного из таких приборов и его устройство (в значительно увеличенном виде) показаны на рис. 78. Это диод серии Д9. Такой или ему подобный диод, например Д2, тебе уже знаком — я рекомендовал использовать его в твоем первом приемнике в качестве детектора. Выпрямительным элементом прибора служит контакт между тонкой и очень маленькой (площадью около 1 мм^2) пластинкой полупроводника германия или кремния типа n и острием вольфрамовой проволочки, упирающимся в пластинку. Они припаяны к отрезкам посеребренной проволоки длиной примерно по 50 мм, являющимся выводами диода. Вся конструкция находится внутри стеклянной трубочки диаметром около 3 и длиной меньше 10 мм, запаянной с концов. После сборки диод формуют — пропускают через контакт между пластиной полупроводника и острием вольфрамовой проволочки ток определенного значения. При этом под острием проволочки в кристалле полупроводника образуется небольшая

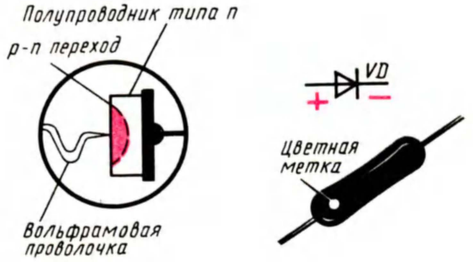


Рис. 78. Схематическое устройство и внешний вид точечного диода серии Д9

область с дырочной электропроводностью. Получается электронно-дырочный переход, обладающий односторонней проводимостью тока. Пластинка полупроводника является катодом, а вольфрамовая проволочка — анодом точечного диода.

О принципе работы точечного диода как детектора ты уже знаешь из третьей беседы.

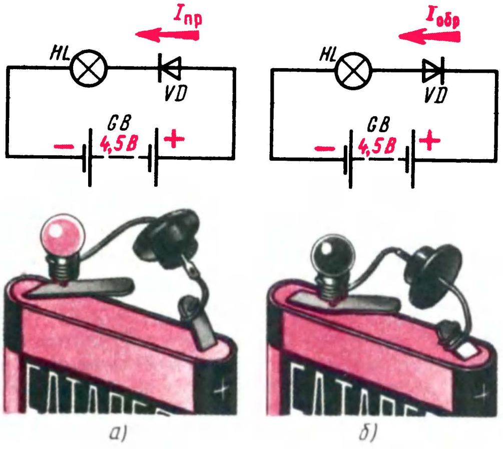
Плоскостные и точечные диоды маркируют буквами и цифрами, например: Д226Б, Д9В, Д18. Буква Д в маркировке прибора означает «диод», цифры, следующие за нею,— заводской порядковый номер конструкции. Буквы, стоящие в конце обозначения диодов, указывают на разновидности групп приборов.

Полярность включения плоскостных диодов обычно обозначают на их корпусах символом диода. Вывод анода диодов серии Д9 обозначают цветными метками на их корпусах. Электроды точечного диода серии Д2 обозначают символом диода на одном из его ленточных выводов.

У точечного диода площадь соприкосновения острия проволочки с поверхностью пластинки полупроводника чрезвычайно мала — не более 50 мкм^2. Поэтому токи, которые точечные диоды могут выпрямлять в течение продолжительного времени, малы. Точечные диоды радиолюбители используют в основном для детектирования модулированных колебаний высокой частоты, поэтому их часто называют высокочастотными.

Как для плоскостных, так и для точечных диодов существуют максимально допустимые значения прямого и обратного токов, зависящие от прямого и обратного напряжений и определяющие их выпрямительные свойства и электрическую прочность. Это их основные параметры. Плоскостной диод Д226В, например, может продолжительное время выпрямлять ток до 300 мА. Но если его включить в цепь, потребляющую ток более 300 мА, он будет нагреваться, что неизбежно приведет к тепловому пробою p-n перехода и выходу диода из строя. Диод будет пробит и в том случае, если он окажется в цепи, в которой на него будет подаваться обратное напряжение более чем 400 В. Допустимый выпрямленный ток для точечного диода Д9А 65 мА, а допустимое обратное напряжение 10 В. Основные параметры полупроводниковых диодов указывают в их паспортах и справочных таблицах. Превышение предельных значений приводит к выходу приборов из строя.

Основные параметры наиболее распространенных точечных и плоскостных полупроводниковых диодов ты найдешь в приложении 7.



а)

б)

Рис. 79. Опыты с плоскостным диодом

А теперь, чтоб лучше закрепить в памяти твое представление о свойствах диодов, предлагаю провести такой опыт. В электрическую цепь, составленную из батареи 3336 и лампочки накаливания, рассчитанной на напряжение 3,5 В и ток накала 0,28 А, включи любой плоскостной диод из серии Д226 или Д7 с любым буквенным индексом, но так, чтобы анод диода был соединен непосредственно или через лампочку с положительным выводом батареи, а катод — с отрицательным выводом (рис. 79, *а*). Лампочка должна гореть почти так же, как если бы диода не было в цепи. Измени порядок включения электродов диода в цепь на обратный (рис. 79, *б*). Теперь лампочка гореть не должна. А если горит, значит, диод оказался с пробитым p-n переходом. Такой диод можно разломать, чтобы посмотреть, как он устроен,— для работы как выпрямитель он все равно непригоден. Но, надеюсь, диод был хорошим и опыт удался.

Почему при первом включении диода в цепь лампочка горела, а при втором не горела? В первом случае диод был открыт, так как на него подавалось прямое напряжение $U_{пр}$, сопротивление диода было мало и через него протекал прямой ток $I_{пр}$, значение которого определялось нагрузкой цепи — лампочкой. Во втором случае диод был закрыт, так как к нему прикладывалось обратное напряжение $U_{обр}$, равное напряжению батареи. Сопротивление диода было очень большое, и в цепи тек лишь незначительный обратный ток $I_{обр}$, который не мог накалить нить лампочки.

В этом опыте лампочка выполняла двоякую функцию. Она, во-первых, была индикатором наличия тока в цепи, а во-вторых, ограничивала ток в цепи до 0,28 А и таким образом защищала диод от перегрузки.

Теперь надо поговорить о стабилитроне, занимающем в «семье» диодов особое положение.

СТАБИЛИТРОН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Этот полупроводниковый прибор тоже диод, кремниевый, но предназначен он не для выпрямления переменного тока, хотя и может выполнять такую функцию, а для стабилизации, т. е. поддержания постоянства напряжения в цепях питания радиоэлектронной аппаратуры. Внешний вид одной из конструкций наиболее распространенных среди радиолюбителей стабилитронов и условное графическое обозначение стабилитронов показаны на рис. 80.

По устройству и принципу работы кремниевые стабилитроны широкого применения аналогичны плоскостным выпрямительным диодам. Но работает стабилитрон не на прямом, как выпрямительные или высокочастотные диоды, а на том участке обратной ветви вольт-амперной характеристики, где незначительное обратное напряжение вызывает значительное увеличение обратного тока через прибор. Разобраться в сущности действия стабилитрона тебе поможет его вольт-амперная характеристика, показанная на рис. 81, *а*. Здесь (как и на рис. 75) по горизонтальной оси отложены в некотором масштабе обратное напряжение $U_{обр}$, а по вертикальной оси вниз — обратный ток $I_{обр}$. Напряжение на стабилитрон подают в обратной полярности, т. е. включают так, чтобы его анод был соединен с отрицательным полюсом источника питания. При таком включении через стабилитрон течет обратный ток $I_{обр}$. По мере увеличения обратного напряжения обратный ток растет очень медленно — характеристика идет почти параллельно оси $U_{обр}$. Но при некотором напряжении $U_{обр}$ (на рис. 81, *а* — около 8 В) p-n переход стабилитрона пробивается и через него начинает течь значительный обратный ток. Теперь вольт-амперная характеристика резко поворачивает и идет вниз почти параллельно оси $I_{обр}$. Этот участок и является для стабилитрона рабочим. Пробой же p-n перехода не ведет к порче прибора, если ток через него не превышает некоторого допустимого значения.

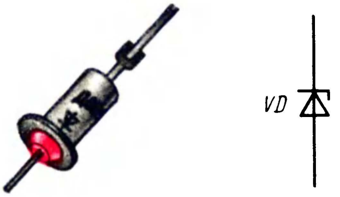


Рис. 80. Стабилитрон и его графическое обозначение на схемах

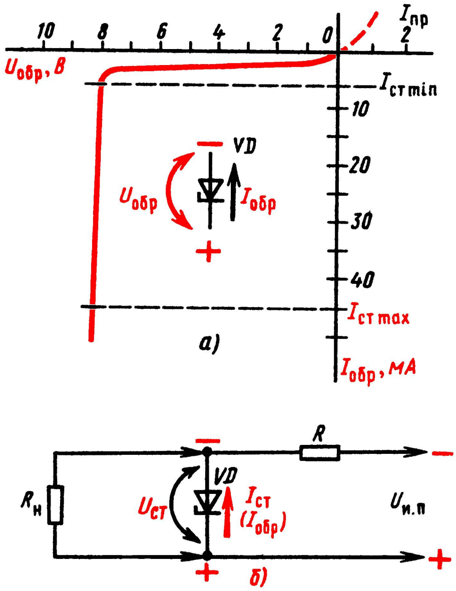


Рис. 81. Вольт-амперная характеристика стабилитрона (*а*) и схема параметрического стабилизатора напряжения (*б*)

На рис. 81, *б* приведена схема возможного практического применения стабилитрона. Это так называемый параметрический стабилизатор напряжения. При таком включении через стабилизатор VD течет обратный ток $I_{обр}$, создающийся источником питания, напряжение которого может изменяться в значительных пределах. Под действием этого напряжения ток $I_{обр}$, текущий через стабилитрон, тоже изменяется, а напряжение на нем, а значит, и на подключенной к нему нагрузке $R_н$ остается практически неизменным — стабильным. Резистор R ограничивает максимально допустимый ток, текущий через стабилитрон.

Со стабилизаторами напряжения тебе неоднократно придется иметь дело на практике.

Вот наиболее важные параметры стабилитрона: напряжение стабилизации $U_{ст}$, ток стабилизации $I_{ст}$, минимальный ток стабилизации $I_{ст\,min}$ и максимальный ток стабилизации $I_{ст\,max}$. Напряжение стабилизации $U_{ст}$ — это то напряжение, которое создается между выводами стабилизатора в рабочем режиме. Наша промышленность выпускает кремниевые стабилитроны на напряжение стабилизации от нескольких вольт до 180 В.

Минимальный ток стабилизации $I_{\text{ст min}}$ — это наименьший ток через прибор, при котором начинается устойчивая работа в режиме пробоя (на рис. 81, *а* — штриховая линия $I_{\text{ст min}}$); с уменьшением этого тока прибор перестает стабилизировать напряжение.

Максимально допустимый ток стабилизации $I_{\text{ст max}}$ — это наибольший ток через прибор (не путай с током, текущим в цепи, питающейся от стабилизатора напряжения), при котором температура его p-n перехода не превышает допустимой (на рис. 81, *а* — штриховая линия $I_{\text{ст max}}$). Превышение тока $I_{\text{ст max}}$ ведет к тепловому пробою p-n перехода и, естественно, к выходу прибора из строя.

Основные параметры некоторых стабилитронов, наиболее часто используемых в радиолюбительских конструкциях, приведены в приложении 10. В сетевом блоке питания, например, о котором я буду рассказывать в десятой беседе, будет использован стабилитрон Д813. Напряжение его стабилизации (при $I_{\text{ст}} = 5$ мА) может быть от 11,5 до 14 В, $I_{\text{ст min}} = 3$ мА, $I_{\text{ст max}} = 20$ мА, максимальная рассеиваемая мощность P_{max} ($U_{\text{ст}} I_{\text{ст max}}$) — 280 мВт.

Перейдем к транзисторам.

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полупроводниковые приборы, называемые транзисторами, подразделяют на две группы: биполярные и полевые. Транзисторы первой группы, чтобы как-то отличить их от второй группы, часто называют обычными транзисторами. С них, используемых наиболее широко, я и начну рассказ.

Термин «транзистор» образован из двух английских слов: transfer — преобразователь и resistor — сопротивление. В упрощенном виде биполярный транзистор представляет собой пластинку полупроводника с тремя (как в слоеном пироге) чередующимися областями разной электропроводности (рис. 82), которые образуют два p-n перехода. Две крайние области обладают электропроводностью другого типа. У каждой области свой контактный вывод. Если в крайних областях преобладает дырочная электропроводность, а в средней электронная (рис. 82, *а*), то такой прибор называют транзистором структуры p-n-p. У транзистора структуры n-p-n, наоборот, по краям расположены области с электронной электропроводностью, а между ними — область с дырочной электропроводностью (рис. 82, *б*).

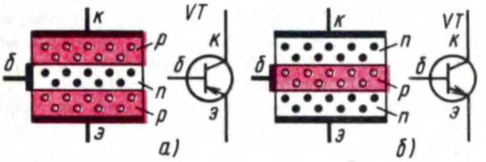


Рис. 82. Схематическое устройство и графическое обозначение на схемах транзисторов структуры p-n-p и n-p-n

Прикрой листком бумаги любую из крайних областей транзисторов, изображенных схематически на рис. 82. Что получилось? Оставшиеся две области есть не что иное, как плоскостной диод. Если прикрыть другую крайнюю область, то тоже получится диод. Значит, транзистор можно представить себе как два плоскостных диода с одной общей областью, включенных навстречу друг другу. Общую (среднюю) область транзистора называют **базой**, одну крайнюю область — **эмиттером**, вторую крайнюю область — **коллектором**. Это три электрода транзистора. Во время работы транзистора его эмиттер вводит (эмиттирует) в базу дырки (в транзисторе структуры p-n-p) или электроны (в транзисторе структуры n-p-n), коллектор собирает эти электрические заряды, вводимые в базу эмиттером. Различие в обозначениях транзисторов разных структур на схемах заключается лишь в направлении стрелки эмиттера: в p-n-p транзисторах она обращена в сторону базы, а в n-p-n транзисторах — от базы.

Электронно-дырочные переходы в транзисторе могут быть получены так же, как в плоскостных диодах. Например, чтобы изготовить транзистор структуры p-n-p, берут тонкую пластинку германия с электронной электропроводностью и наплавляют на ее поверхности кусочки индия. Атомы индия диффундируют (проникают) в тело пластинки, образуя в ней две области типа p — эмиттер и коллектор, а между ними остается очень тонкая (несколько микрон) прослойка полупроводника типа n — база. Транзисторы, изготовляемые по такой технологии, называют **сплавными**.

Запомни наименования p-n переходов транзистора: между коллектором и базой — коллекторный, между эмиттером и базой — эмиттерный.

Схематическое устройство и конструкция сплавного транзистора показаны на рис. 83. Прибор собран на металлическом диске диаметром менее 10 мм. Сверху к этому диску приварен кристаллодержатель, являющийся внутренним выводом базы, а снизу — ее наружный проволочный вывод. Внутренние выводы коллектора и эмиттера приварены к проволочкам, которые впаяны в стеклянные изоляторы и служат внешними выводами этих электродов. Цельнометаллический колпак защищает прибор от механических повреждений и влияния света. Так устроены наиболее распространенные маломощные низкочастотные транзисторы серий

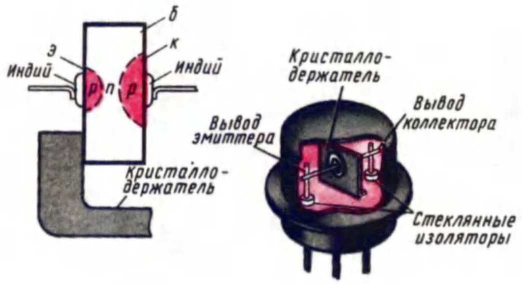


Рис. 83. Устройство и конструкция сплавного транзистора структуры p-n-p

МП39, МП40, МП41, МП42 и их разновидности. Здесь буква М в обозначении говорит о том, что корпус транзистора холодносварной, буква П — первоначальная буква слова «плоскостной», а цифры — порядковые заводские номера приборов. В конце обозначения могут быть буквы А, Б, В (например, МП39Б), указывающие разновидность транзистора данной серии.

Существуют другие способы изготовления транзисторов, например диффузионно-сплавной (рис. 84). Коллектором транзистора, изготовленного по такой технологии, служит пластинка исходного полупроводника. На поверхность пластинки наплавляют очень близко один от другого два маленьких шарика примесных элементов. Во время нагрева до строго определенной температуры происходит диффузия примесных элементов в пластинку полупроводника. При этом один шарик (на рис. 84 — правый) образует в коллекторе тонкую базовую область, а второй (на рис. 84 — левый) эмиттерную область. В результате в пластинке исходного полупроводника получаются два p-n перехода, образующие транзистор структуры p-n-p. По такой технологии изготовляют, в частности, наиболее массовые маломощные высокочастотные транзисторы серий ГТ308, ГТ309, ГТ310.

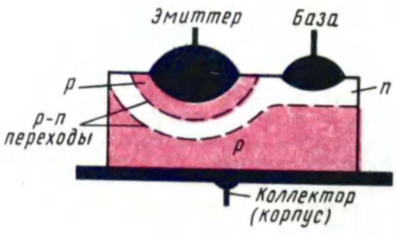


Рис. 84. Устройство диффузионно-сплавного транзистора структуры p-n-p

В настоящее время действует система маркировки транзисторов, по которой выпускаемые серийно приборы имеют обозначения, состоящие из четырех элементов, например: ГТ109А, КТ315В, ГТ403И. Первый элемент этой системы обозначения — буква Г, К или А (или цифра 1, 2 и 3) — характеризует полупроводниковый материал транзистора и температурные условия работы прибора. Буква Г (или цифра 1) присваивается германиевым транзисторам, буква К (или цифра 2) — кремниевым транзисторам, буква А (или цифра 3) — транзисторам, полупроводниковым материалом которых служит арсенид галлия. Цифра, стоящая вместо буквы, указывает на то, что данный транзистор может работать при повышенных температурах (германиевый — выше +60° С, кремниевый — выше +85° С).

Второй элемент — буква Т — начальная буква слова «транзистор».

Третий элемент — трехзначное число от 101 до 999 — указывает порядковый номер разработки и назначение прибора. Это число присваивается транзистору в зависимости от мощности и частотных свойств.

Таблица

Транзистор	Низкая частота (до 3 МГц)	Средняя частота (3...30 МГц)	Высокая частота (свыше 30 МГц)
Малой мощности (до 0,3 Вт)	101...199	201...299	301...399
Средней мощности (0,3...3 Вт)	401...499	501...599	601...699
Большой мощности (свыше 3 Вт)	701...799	801...899	901...999

Четвертый элемент обозначения — буква, указывающая разновидность транзисторов данной серии.

Вот некоторые примеры расшифровки обозначений транзисторов по этой системе: ГТ109А — германиевый маломощный низкочастотный транзистор, разновидность А; ГТ404Г — германиевый средней мощности низкочастотный транзистор, разновидность Г; КТ315В — кремниевый маломощный высокочастотный транзистор, разновидность В. Наряду с такой системой продолжает действовать и прежняя система обозначения транзисторов, например: П27, П401, П213, МП39 и т. д. Объясняется это тем, что такие или подобные транзисторы были разработаны до введения современной маркировки полупроводниковых приборов.

Внешний вид некоторых биполярных транзисторов, наиболее широко используемых ра-

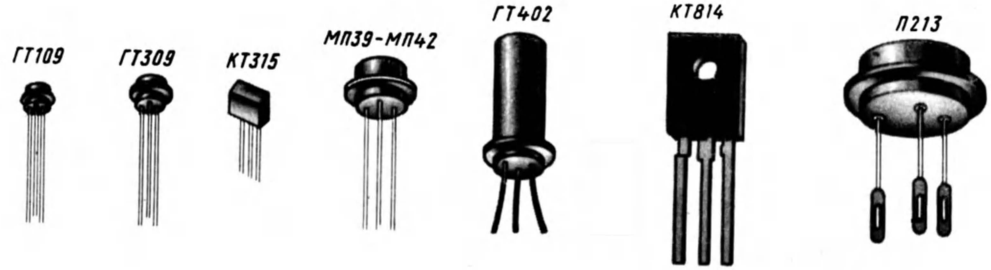


Рис. 85. Внешний вид некоторых транзисторов

диолюбителями, показан на рис. 85. Маломощный низкочастотный транзистор ГТ109 (структуры p-n-p) имеет в диаметре всего 3,4 мм, его масса 0,1 г. Транзисторы этой серии предназначены для миниатюрных радиовещательных приемников. Их используют также в слуховых аппаратах, в электронных медицинских приборах. Диаметр транзисторов ГТ309 (p-n-p) 7,4 мм, масса 0,5 г. Такие транзисторы применяют в различных малогабаритных электронных устройствах для усиления и генерирования колебаний высокой частоты. Транзисторы КТ315 (n-p-n) выпускают в пластмассовых корпусах. Размеры корпуса 7×9×3 мм, масса 0,2 г. Эти маломощные транзисторы предназначены для усиления и генерирования колебаний высокой частоты.

Транзисторы серий МП39—МП42 (p-n-p) — самые массовые среди маломощных низкочастотных транзисторов. Точно также выглядят аналогичные им, но структуры n-p-n, транзисторы МП35—МП38. Диаметр корпуса любого из этих транзисторов 11,5 мм, масса — не более 2 г. Наиболее широко их используют в усилителях звуковой частоты. Так выглядят и маломощные высокочастотные p-n-p транзисторы серий П401—П403, П416, П423, используемые в радиовещательных приемниках для усиления высокочастотных сигналов.

Транзистор ГТ402 (p-n-p) — представитель низкочастотных транзисторов средней мощности. Такую же конструкцию имеет его «близнец» ГТ404, но он структуры n-p-n. Высота корпусов таких транзисторов 18 мм, масса — не более 5 г. Их, обычно в паре, используют в каскадах усиления мощности колебаний звуковой частоты.

Транзистор П213 (германиевый структурный p-n-p) — один из мощных низкочастотных транзисторов, широко используемых в оконечных каскадах усилителей звуковой частоты. Диаметр этого, а также аналогичных ему транзисторов серий П214—П216 и некоторых других 24 мм, масса — не более 20 г. Такие транзисторы крепят на шасси или панелях с помощью фланцев. Во время работы они нагреваются, поэтому их обычно ставят на специальные теплоотводящие радиаторы, увеличивающие поверхности охлаждения.

Транзистор КТ814 (кремниевый структуры p-n-p) тоже большой мощности, но он среднечастотный. Корпус пластмассовый, масса — не более 1 г. Винтом, пропущенным через отверстие в корпусе, его крепят к металлической пластинке, выполняющей функцию теплоотводящего радиатора. Точно такую конструкцию имеют и p-n-p транзисторы КТ815, используемые вместе с транзистором КТ814 в усилителях мощности.

А теперь — несколько опытов, иллюстрирующих свойства и принцип работы биполярных транзисторов.

ТРАНЗИСТОР — УСИЛИТЕЛЬ

В начале этой части беседы я сказал, что биполярный транзистор можно представить себе как два включенных встречно плоскостных диода, совмещенных в одной пластинке полупроводника. В этом нетрудно убедиться на опытах, для которых потребуется любой германиевый транзистор структуры p-n-p, например МП39 или подобные ему транзисторы МП40 — МП42. Между коллектором и базой транзистора включи последовательно соединенные батарею 3336 и лампочку от карманного фонаря, рассчитанную на напряжение 2,5 В и ток накала 0,075 или 0,15 А (рис. 86). Если положительный полюс батареи GB окажется соединенным (через лампочку) с коллектором, а отрицательный — с базой (рис. 86, *а*), то лампочка должна гореть. При другой полярности включения батареи (рис. 86, *б*) лампочка гореть не будет.

Как объяснить эти явления? Сначала на коллекторный p-n переход ты подавал прямое, т. е. пропускное, напряжение. В этом случае коллекторный p-n переход открыт, его сопротивление мало́ и через него течет прямой

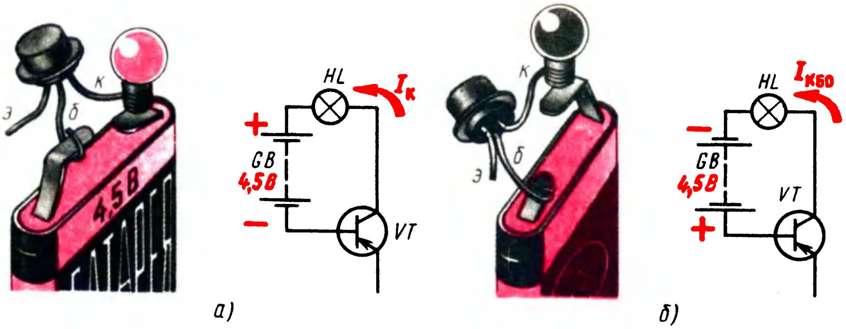


Рис. 86. Опыты с биполярным транзистором

ток коллектора $I_К$. Значение этого тока в данном случае определяется в основном сопротивлением нити накала лампочки и внутренним сопротивлением батареи. При другом включении батареи ее напряжение подавалось на коллекторный переход в обратном, непропускном направлении. В этом случае переход закрыт, его сопротивление велико и через него течет лишь небольшой обратный ток коллектора $I_{КБО}$. У исправных маломощных низкочастотных транзисторов обратный ток коллектора не превышает 30 мкА. Такой ток, естественно, не мог накалить нить лампочки, поэтому она и не горела.

Проведи аналогичный опыт с эмиттерным p-n переходом. Результат будет таким же: при обратном напряжении переход будет закрыт — лампочка не горит, а при прямом напряжении он будет открыт — лампочка горит.

Следующий опыт, иллюстрирующий один из режимов работы транзистора, проводи по схеме, показанной на рис. 87. Между эмиттером и коллектором транзистора включи последовательно соединенные батарею 3336 и ту же лампочку накаливания. Положительный полюс батареи должен соединяться с эмиттером, а отрицательный — с коллектором (через нить накала). Горит лампочка? Нет, не горит. Соедини проволочной перемычкой базу с эмиттером, как показано на схеме штриховой линией. Лампочка, включенная в коллекторную цепь транзистора, тоже не будет гореть. Удали перемычку, а вместо нее подключи к этим электродам последовательно соединенные резистор $R_б$ сопротивлением 200...300 Ом и один гальванический элемент $G_б$, например, типа 332, но так, чтобы минус элемента был на базе, а плюс — на эмиттере. Теперь лампочка должна гореть. Поменяй местами полярность подключения элемента к этим электродам транзистора. В этом случае лампочка гореть не должна. Повтори несколько раз этот опыт и ты убедишься в том, что лампочка в коллекторной цепи будет гореть только тогда, когда на базе транзистора относительно эмиттера действует отрицательное напряжение.

Разберемся в этих опытах. В первом из них, когда ты, соединив перемычкой базу с эмиттером, замкнул накоротко эмиттерный переход, коллекторный переход стал просто диодом, на который подавалось обратное напряжение. Через транзистор шел лишь незначительный об-

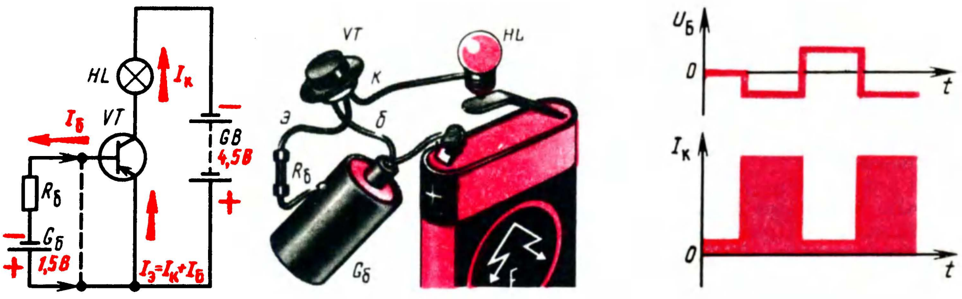


Рис. 87. Опыт, иллюстрирующий работу транзистора в режиме переключения

ратный ток коллекторного перехода, который не мог накалить нить лампочки. В это время транзистор находился в закрытом состоянии. Затем, удалив перемычку, ты восстановил эмиттерный переход. Первым включением элемента между базой и эмиттером ты подал на эмиттерный переход прямое напряжение. Эмиттерный переход открылся, и через него пошел прямой ток, который открыл второй переход транзистора — коллекторный. Транзистор оказался открытым, и по цепи эмиттер — база — коллектор пошел коллекторный ток транзистора $I_К$, который во много раз больше тока цепи эмиттер — база. Он-то и накалил нить лампочки. Когда же ты изменил полярность включения элемента на обратную, то его напряжение закрыло эмиттерный переход, а вместе с тем закрылся и коллекторный переход. При этом ток транзистора почти прекратился (шел только обратный ток коллектора) и лампочка не горела.

Какова роль резистора $R_б$? В принципе этого резистора может и не быть. Я же рекомендовал включить его исключительно для того, чтобы ограничить ток в базовой цепи. Иначе через эмиттерный переход пойдет слишком большой прямой ток, в результате чего может произойти тепловой пробой перехода и транзистор выйдет из строя.

Если бы при проведении этих опытов в базовую и коллекторную цепи были включены измерительные приборы, то при закрытом транзисторе токов в его цепях почти не было бы. При открытом же транзисторе ток базы $I_Б$ был бы не более 2...3 мА, а ток коллектора $I_К$ составлял 60...75 мА. Это означает, что транзистор может быть усилителем тока.

В этих опытах транзистор был в одном из двух состояний: открытом или закрытым. Переключение транзистора из одного состояния в другое происходило под действием напряжения на базе $U_Б$. Такой режим работы транзистора, проиллюстрированный графиками на рис. 87, называют режимом переключения или, что то же самое, ключевым. Такой режим работы транзисторов используют в основном в приборах и устройствах электронной автоматики.

В радиовещательных приемниках и усилителях колебаний звуковой частоты транзисторы работают в режиме усиления. Отличается он от режима переключения тем, что, используя малые токи в базовой цепи, мы можем управлять значительно большими токами в коллекторной цепи транзистора. Проиллюстрировать работу транзистора в режиме усиления можно следующим опытом (рис. 88). В коллекторную цепь транзистора VT включи электромагнитный телефон BF1, а между базой и минусом источника питания GB (батарея 3336) — резистор $R_б$ сопротивлением 200...250 кОм. Второй телефон BF2 подключи к участку база — эмиттер транзистора, но через конденсатор связи $C_{св}$ емкостью 0,1...0,5 мкФ. У тебя получится простейший усилитель, который может выполнять, например, роль одностороннего телефонного аппарата. Если твой приятель будет негромко говорить перед телефоном BF2, включенным на входе усилителя, его разговор ты будешь слышать в телефонах BF1, включенных на выходе усилителя. На вход усилителя вместо телефона BF2 можно включить звукосниматель и проиграть грампластинку. Тогда в телефонах BF1 будут хорошо слышны звуки мелодии или голос певца, записанные на грампластинке.

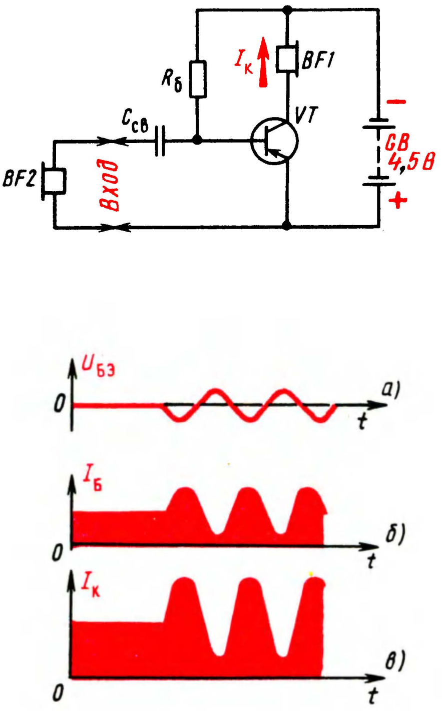


Рис. 88. Опыт, иллюстрирующий работу транзистора в режиме усиления

Каковы здесь функции резистора $R_б$ и конденсатора $C_{св}$? Через резистор $R_б$ на базу транзистора от батареи питания GB подается небольшое отрицательное напряжение, называемое напряжением смещения, которое открывает транзистор и тем самым обеспечивает ему работу в режиме усиления. Без начального напряжения смещения эмиттерный p-n переход транзистора будет закрыт и, подобно диоду, станет «срезать» положительные полупериоды входного напряжения, отчего усиление будет сопровождаться искажениями. А конденсатор $C_{св}$ выполняет функцию связующего элемента между телефоном BF2 и базой транзистора. Он беспрепятственно пропускает колебания звуковой частоты и преграждает путь постоянному току из базовой цепи к телефону. Без такого разделительного конденсатора база транзистора по постоянному току оказалась бы соединенной с эмиттером и режим усиления был бы нарушен.

В этом опыте на вход усилителя подавалось переменное напряжение звуковой частоты, источником которого был телефон, преобразующий, как микрофон, звуковые колебания в электрические (на рис. 88 — график *а*). Это напряжение создавало в цепи эмиттер — база колебания постоянного тока (график *б*), которые управляли значительно большим током в коллекторной цепи (график *в*). Происходило усиление входного сигнала. Усиленный же транзистором сигнал преобразовывался телефонами BF1, включенными в цепь коллектора, в звуковые колебания. Транзистор работал в режиме усиления.

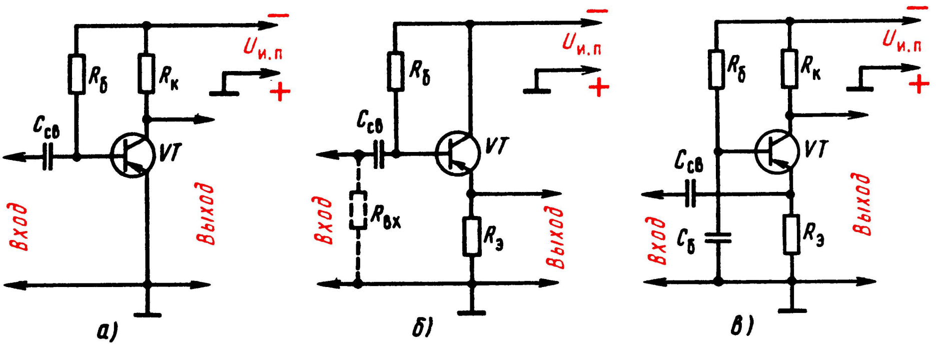
Процесс усиления в общих чертах происходит следующим образом. При отсутствии напряжения входного сигнала в цепях базы и коллектора текут небольшие токи (на рис. 88 — левые участки графиков *б* и *в*), определяемые напряжением источника питания, напряжением смещения на базе и усилительными свойствами транзистора. Как только в цепи базы появляется сигнал, соответственно ему начинают изменяться и токи в цепях транзистора: во время отрицательных полупериодов, когда суммарное отрицательное напряжение на базе возрастает, токи цепей увеличиваются, а во время положительных полупериодов, когда напряжения сигнала и смещения противоположны и, следовательно, отрицательное напряжение на базе уменьшается, токи в обеих цепях тоже уменьшаются. Происходит усиление по напряжению и току. Если нагрузкой транзистора будут не телефоны, а резистор, то создающееся на нем напряжение переменной составляющей усиленного сигнала можно будет подать во входную цепь второго транзистора для дополнительного усиления. Один транзистор может усилить сигнал в 30—50 раз.

Точно так работают и транзисторы структуры n-p-n. Но для них полярность включения батареи, питающей цепи базы и коллектора, должна быть не такой, как у p-n-p транзисторов, а обратной.

Запомни: для работы транзистора в режиме усиления на его базу (относительно эмиттера) вместе с напряжением усиливаемого сигнала обязательно должно подаваться постоянное напряжение смещения, открывающее транзистор. Для германиевых транзисторов оно должно составлять 0,1...0,2 В, а для кремниевых транзисторов 0,5...0,7 В. Напряжение смещения на базу не подают лишь в тех случаях, когда эмиттерный переход транзистора используют для детектирования радиочастотного модулированного сигнала.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Итак, биполярный транзистор независимо от его структуры является трехэлектродным прибором. Его электроды — эмиттер, коллектор и база. Для использования транзистора в качестве усилителя напряжения, тока или мощности входной сигнал, который надо усилить, подают на два каких-либо электрода и с двух электродов снимают усиленный сигнал. При этом один из электродов обязательно будет общим. Он-то и определяет название способа включения транзистора: по схеме общего эмиттера (ОЭ), по



а) б) в)

Рис. 89. Схемы включения транзисторов

схеме общего коллектора (ОК), по схеме общей базы (ОБ).

Включение транзистора по схеме ОЭ показано на рис. 89, *а*. Напряжение источника питания $U_{и.п}$ на коллектор транзистора VT подают через резистор $R_к$, являющийся нагрузкой транзистора, на эмиттер — через общий «заземленный» проводник, обозначаемый на схемах знаком «⊥». Входной сигнал через конденсатор связи $C_{св}$ подают к выводам базы и эмиттера, т. е. к участку база — эмиттер транзистора, а усиленный сигнал снимают с выводов эмиттера и коллектора. Эмиттер, следовательно, при таком включении транзистора является общим для входной и выходной цепей.

Вспомни схемы и рисунки, которыми в этой беседе ты пользовался, заставляя транзистор работать в режимах усиления и переключения. Да, транзистор ты включал по схеме ОЭ. И это не случайно: транзистор, включенный таким способом, в зависимости от его усилительных свойств может дать 10—200-кратное усиление сигнала по напряжению и 20—100-кратное усиление сигнала по току. Благодаря этому способ включения транзистора по схеме ОЭ пользуется у радиолюбителей наибольшей популярностью.

Существенным недостатком усилительного каскада на транзисторе, включенном по такой схеме, является его сравнительно малое входное сопротивление — всего 500...1000 Ом, что усложняет согласование усилительных каскадов, транзисторы которых включают по такой же схеме. Объясняется это тем, что в данном случае эмиттерный p-n переход транзистора включен в прямом, т. е. пропускном, направлении. А сопротивление пропускного перехода, зависящее от прикладываемого к нему напряжения, всегда мало́. Что же касается выходного сопротивления такого каскада, то оно достаточно большое (2...20 кОм) и зависит от сопротивления нагрузки $R_к$ и усилительных свойств транзистора.

Включение транзистора по схеме ОК ты видишь на рис. 89, *б*. Входной сигнал подают на базу и эмиттер через эмиттерный резистор $R_э$, который является частью коллекторной цепи. С этого же резистора, выполняющего функцию нагрузки транзистора, снимают и выходной сигнал. Таким образом, этот участок коллекторной цепи оказывается общим для входной и выходной цепей, поэтому и название способа включения транзистора — ОК. Каскад с транзистором, включенным по такой схеме, по напряжению дает усиление меньше единицы. Усиление же по току получается примерно такое же, как если бы транзистор был включен по схеме ОЭ. Но зато входное сопротивление такого каскада может составлять 10...500 кОм, что хорошо согласуется с большим выходным сопротивлением каскада на транзисторе, включенном по схеме ОЭ. По существу каскад не дает усиления по напряжению, а лишь как бы повторяет подведенный к нему сигнал. Поэтому транзисторы, включаемые по такой схеме, называют также эмиттерными повторителями. Почему эмиттерными? Потому, что выходное напряжение на эмиттере транзистора практически полностью повторяет входное напряжение.

Почему каскад не усиливает напряжение? Давай соединим резистором цепь базы транзистора с нижним (по схеме) выводом эмиттерного резистора $R_э$, как показано на рис. 89, *б* штриховыми линиями. Этот резистор — эквивалент внутреннего сопротивления источника входного сигнала $R_{вх}$, например микрофона или звукоснимателя. Таким образом, эмиттерная цепь оказывается связанной через резистор $R_{вх}$ с базой. Когда на вход усилителя подается напряжение сигнала, на резисторе $R_э$, являющемся нагрузкой транзистора, выделяется напряжение усиленного сигнала, которое через резистор $R_{вх}$ оказывается приложенным к базе в противофазе. При этом между эмиттерной и базовой цепями возникает очень сильная отрицательная обратная связь, сводящая на нет усиление каскада. Это по напряжению. А по току усиление получается такое же, как и при включении транзистора по схеме ОЭ.

Теперь о включении транзистора по схеме ОБ (рис. 89, *в*). В этом случае база через конденсатор $C_б$ по переменному току заземлена, т. е. соединена с общим проводником питания. Входной сигнал через конденсатор $C_{св}$ подают на эмиттер и базу, а усиленный сигнал снимают с коллектора и с заземленной базы. База, таким образом, является общим электродом входной и выходной цепей каскада. Такой каскад дает усиление по току меньше единицы, а по напряжению — такое же, как транзистор, включенный по схеме ОЭ (10...200). Из-за очень малого входного сопротивления, не превышающего нескольких десятков ом (30...100 Ом), включение транзистора по схеме ОБ используют главным образом в генераторах электрических колебаний, в сверхгенеративных каскадах, применяемых, например, в аппаратуре радиоуправления моделями, о чем у нас разговор впереди.

Ты чаще всего будешь пользоваться включением транзистора по схеме ОЭ, реже — по схеме ОК. Но это только способы включения. А режим работы транзистора как усилителя определяется напряжениями на его электродах, токами в его цепях и, конечно, параметрами самого транзистора.

Качество и усилительные свойства биполярных транзисторов оценивают по нескольким электрическим параметрам, которые измеряют с помощью специальных приборов. Тебя же с практической точки зрения в первую очередь должны интересовать три основных параметра: обратный ток коллектора $I_{КБО}$, статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ (читают так: аш два один э) и граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$.

Обратный ток коллектора $I_{КБО}$ — это неуправляемый ток через коллекторный p-n переход, создающийся неосновными носителями тока транзистора. Он характеризует качество транзистора: чем численное значение параметра $I_{КБО}$ меньше, тем выше качество транзистора. У маломощных низкочастотных транзисторов, например серий МП39 — МП42, $I_{КБО}$ не должен превышать 30 мкА, а у маломощных высокочастотных, например серий КТ315, 1 мкА. Транзисторы с бо́льшими значениями $I_{КБО}$ в работе неустойчивы.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ характеризует усилительные свойства транзистора. Статическим его называют потому, что этот параметр измеряют при неизменных напряжениях на его электродах и неизменных токах в его цепях. Большая (заглавная) буква «Э» в этом выражении указывает на то, что при измерении транзистор включают по схеме ОЭ. Коэффициент $h_{21Э}$ характеризуется отношением постоянного тока коллектора к постоянному току базы при заданных постоянном обратном напряжении коллектор — эмиттер и токе эмиттера. Чем больше численное значение коэффициента $h_{21Э}$, тем большее усиление сигнала может обеспечить данный транзистор.

Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$, выраженная в килогерцах или мегагерцах, позволяет судить о возможности использования транзистора для усиления колебаний тех или иных частот. Граничная частота $f_{гр}$ транзистора МП39, например, 500 кГц, а транзисторов П401 — П403 — больше 30 МГц. Практически транзисторы используют для усиления частот значительно меньше граничных, так как с повышением частоты коэффициент $h_{21Э}$ транзистора уменьшается.

При конструировании радиотехнических устройств надо учитывать и такие параметры транзисторов, как максимально допустимое напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭmax}$, максимально допустимый ток коллектора $I_{Кmax}$, а также максимально допустимую рассеиваемую мощность коллектора транзистора $P_{Кmax}$ — мощность, превращающуюся внутри транзистора в тепло.

Основные сведения о параметрах биполярных транзисторов широкого применения ты найдешь в приложении 8.

Теперь...

КОРОТКО О ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

В этом полупроводниковом приборе управление рабочим током осуществляется не током во входной (базовой) цепи, как в биполярном транзисторе, а воздействием на носители тока электрического поля. Отсюда и название транзистора «полевой».

Схематическое устройство и конструкция одного из полевых транзисторов показаны на рис. 90. Основой такого транзистора служит пластинка кремния с электропроводностью типа n, в которой создана тонкая область с электропроводностью типа p. Пластинку прибора называют затвором, а p-область в ней — каналом. С одной стороны канал заканчивается истоком, с другой — стоком, тоже областью типа p, но с повышенной концентрацией дырок. Между затвором и каналом создается p-n переход. От затвора, истока и стока сделаны контактные выводы.

Если к истоку подключить положительный, а к стоку — отрицательный полюсы батареи

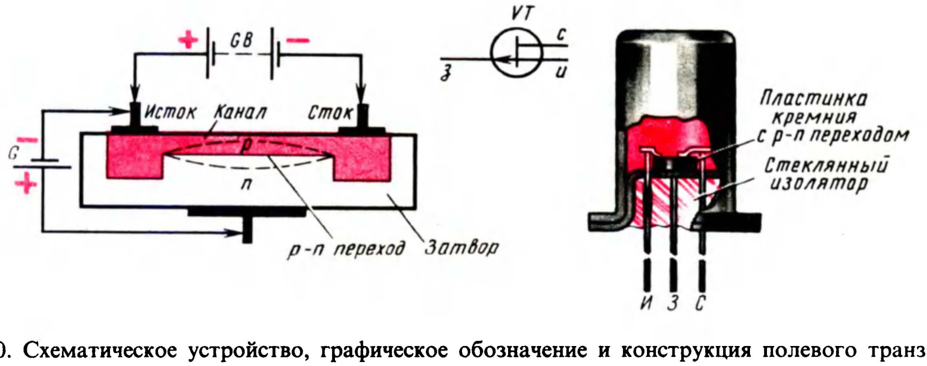


Рис. 90. Схематическое устройство, графическое обозначение и конструкция полевого транзистора с p-n переходом и каналом p типа

питания (на рис. 90 — батарея GB), то в канале появится ток, создающийся движением дырок от истока к стоку. Этот ток, называемый током стока $I_С$, зависит не только от напряжения этой батареи, но и от напряжения, действующего между источником и затвором (на рис. 90 — элемент G). И вот почему. Когда на затворе относительно истока действует положительное закрывающее напряжение, обедненная область p-n перехода расширяется (на рис. 90 показано штриховыми линиями). От этого канал сужается, его сопротивление увеличивается, из-за чего ток стока уменьшается. С уменьшением же положительного напряжения на затворе обедненная область p-n перехода, наоборот, сужается, канал расширяется, и ток снова увеличивается. Если на затвор вместе с положительным напряжением смещения подать сигнал звуковой частоты, в цепи стока возникнет пульсирующий ток, а на нагрузке, включенной в эту цепь,— напряжение усиленного сигнала.

Так в упрощенном виде устроены и работают низкочастотные полевые транзисторы с p-n переходом и каналом типа p, например транзисторы серий КП102, КП103. Здесь буквы К и П означают «кремниевый полевой», а цифры характеризуют частотные свойства транзистора (см. таблицу на с. 79).

Принципиально так же устроен и работает полевой транзистор с каналом типа n. Затвор транзистора такой структуры обладает дырочной электропроводностью, поэтому на него относительно истока должно подаваться отрицательное напряжение смещения, а на сток (тоже относительно истока) — положительное напряжение источника питания. На условном графическом изображении полевого транзистора с каналом типа n стрелка на линии затвора направлена в сторону истока, а не от истока, как в обозначении транзистора с каналом типа p.

Полевой транзистор — тоже трехэлектродный прибор. Поэтому его, как и биполярный транзистор, включать в усилительный каскад можно тремя способами: по схеме общего стока (ОС), по схеме общего истока (ОИ) и по схеме общего затвора (ОЗ). В радиолюбительской практике применяют в основном только первые два способа включения, позволяющие с наибольшей эффективностью использовать полевые транзисторы.

Усилительный каскад на полевом транзисторе обладает очень большим, исчисляемым мегаомами, входным сопротивлением. Это позволяет подавать на его вход высокочастотные и низкочастотные сигналы от источников с большим внутренним сопротивлением, например от пьезокерамического звукоснимателя, не опасаясь искажения или ухудшения усиления входного сигнала. В этом главное преимущество полевых транзисторов по сравнению с биполярными.

Усилительные свойства полевого транзистора характеризуются крутизной характеристики S — отношением изменения тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора, включенного по схеме ОИ. Численное значение параметра S выражают в миллиамперах на вольт; для различных транзисторов оно может составлять от 0,1...0,2 до 10...15 мА/В и больше. Чем больше крутизна, тем больше усиление сигнала может дать транзистор.

Другой параметр полевого транзистора — напряжение отсечки $U_{ЗИотс}$. Это обратное напряжение на p-n переходе затвор — канал, при котором ток через этот переход уменьшается до нуля. У различных транзисторов напряжение отсечки может составлять от 0,5 до 10 В.

Эти параметры, а также предельно допустимые эксплуатационные параметры работы некоторых полевых транзисторов широкого применения сведены в табл. 9 (в конце книги).

Вот то наиболее существенное, что вкратце можно рассказать о полевых транзисторах.

О МЕРАХ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ МОНТАЖЕ ТРАНЗИСТОРОВ

Надежная работа конструируемой радиоаппаратуры зависит не только от качества используемых в ней транзисторов, но и от соблюдения правил их монтажа.

Выводы транзисторов перед монтажом выпрямляют, зачищают от окислов, залуживают, изгибают по определенной форме (формируют) и, если надо, укорачивают. При этом вывод у корпуса придерживают пинцетом или плоскогубцами, чтобы не обломить. Изгиб проволочных выводов маломощных транзисторов допустим с радиусом 1,5...2 мм на расстоянии не менее 3 мм от корпуса с обязательным придерживанием у корпуса пинцетом или плоскогубцами, чтобы не выкрошить стеклянные изоляторы. Выводы транзисторов не рекомендуется укорачивать более чем до 15 мм.

Необходимо помнить, что транзисторы, как, впрочем, и все полупроводниковые приборы, чувствительны к перегреву, а перегрев влияет на изменение их параметров. Поэтому припаивать выводы транзисторов надо паяльником мощностью не более 40 Вт. Для улучшения отвода тепла от транзистора во время пайки его выводы придерживают пинцетом или плоскогубцами, выполняющими функцию дополнительного теплоотвода. Процесс пайки должен быть кратковременным — не более 3...5 с, а повторную пайку того же соединения (если, конечно, в этом есть необходимость) следует проводить не ранее чем через 2...3 мин.

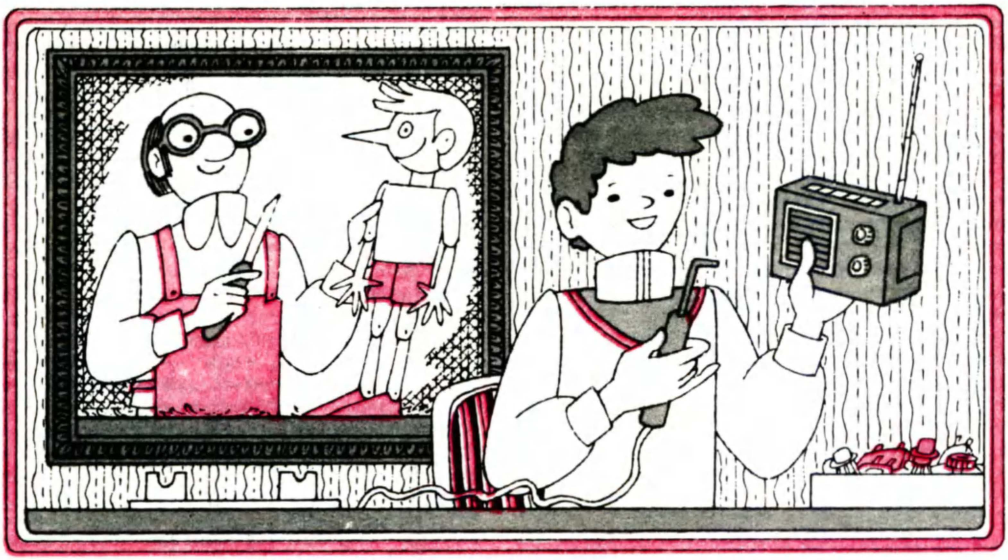
Пробивное напряжение p-n переходов многих маломощных биполярных и полевых транзисторов измеряется единицами вольта и даже меньше. И если рабочая часть паяльника имеет недостаточную изоляцию от нагревательной обмотки, то он может стать причиной порчи транзистора. Поэтому при монтаже транзисторов желательно пользоваться низковольтным паяльником, питая его от понижающего трансформатора и, кроме того, заземляя корпус паяльника снаружи.

При монтаже полевых транзисторов не следует забывать и о возможности пробоя их статическим электричеством и даже напряжением наводок. Электрический заряд, возникший на твоем теле, если ты стоишь на полу, непроводящем ток, может в момент прикосновения к транзистору создать электрический импульс, достаточный для вывода транзистора из строя. Поэтому при монтаже полевых транзисторов особенно желательно пользоваться низковольтным паяльником, его жало следует заземлять и перед пайкой замыкать накоротко все выводы отрезком оголенного провода. Полезно, кроме того, перед монтажом и во время монтажа полевых транзисторов самому радиолюбителю периодически «разряжаться», касаясь рукой заземления на несколько секунд.

Вообще же электрический паяльник, который будет постоянным рабочим инструментом во всех твоих радиомонтажных делах, может причинить неприятность не только транзистору или другому полупроводниковому прибору, но и лично тебе, если один из его токонесущих проводов или нагревательный элемент окажется соединенным с металлическим корпусом. Пользоваться таким паяльником опасно — можно попасть под высокое напряжение электроосветительной сети. Поэтому время от времени проверяй с помощью омметра, не появился ли электрический контакт между корпусом и штепсельной вилкой на конце шнура питания паяльника.

* * *

В этой беседе я рассказал тебе в основном лишь о пяти видах полупроводниковых приборов: сплавном и точечном диодах, стабилитроне, биполярном и полевом транзисторах. Это, пожалуй, наиболее «ходовые» элементы любительских радиотехнических устройств. Но не единственные! В «семейство» полупроводниковых диодов, используемых радиолюбителями для своих конструкций, входят и такие приборы, как, например, тринисторы, светодиоды, фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы. Об устройстве и принципах работы этих и некоторых других полупроводниковых приборов я буду рассказывать применительно к их практическому использованию. А микросхемам и применению их в радиолюбительских конструкциях будет посвящена специальная беседа.



БЕСЕДА ШЕСТАЯ

ПЕРВЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРИЕМНИК

Твоим самым первым радиотехническим устройством был детекторный приемник. Работал он исключительно за счет энергии радиоволн, улавливаемых антенной. Транзисторный приемник, о котором речь пойдет в этой беседе, тоже простое устройство, но для его питания совершенно необходим источник постоянного тока. Потребляя его энергию, транзистор будет усиливать сигналы радиостанций, что позволит слушать их программы со значительно большей громкостью, чем на детекторный приемник.

ОТ ДЕТЕКТОРНОГО — К ОДНОТРАНЗИСТОРНОМУ

Принципиальная электрическая схема твоего первого транзисторного приемника может быть такой, как та, что изображена на рис. 91. В ней все тебе знакомо. Ее левая часть, отделенная от правой штриховой линией, это детекторный приемник с настройкой колебательного контура конденсатором переменной емкости C2, только в детекторную цепь вместо телефонов включен резистор R1. Правая часть — однокаскадный усилитель колебаний звуковой частоты (ЗЧ). Оксидный конденсатор C4 служит связующим элементом между ними. Независимо от способа настройки колебательного контура — ферритовым сердечником или конденсатором переменной емкости — модулированные колебания радиочастоты будут спроектированы диодом

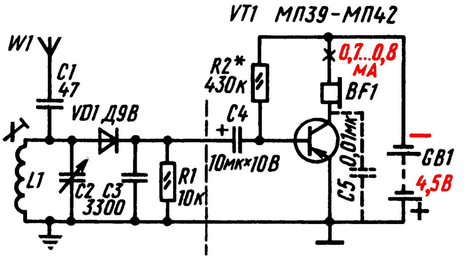


Рис. 91. Детекторный приемник с однокаскадным усилителем ЗЧ

VD1. Резистор R1 выполняет роль нагрузки детектора. Создающиеся на нем колебания звуковой частоты через конденсатор C4 поступают на базу транзистора VT1, включенного по схеме ОЭ, а после усиления головными телефонами BF1, включенными в коллекторную цепь, преобразуются в звуковые колебания.

Источником питания служит батарея GB1 напряжением 4,5 В, например батарея 3336, или составленная из трех элементов 332 (соединить последовательно).

Обращаю внимание на полярность включения оксидного конденсатора C4. На базе транзистора, а он в нашем примере структуры p-n-p, по отношению к «заземленному» проводнику, отрицательное напряжение, равное примерно 0,1 В. Поэтому этот конденсатор должен подключаться к базе отрицательной обкладкой, т. е. обязательно нужно соблюдать полярность оксидного конденсатора.

По предыдущей беседе ты уже знаешь, что для нормальной работы транзистора на его базу кроме входного сигнала подают еще открывающее его напряжение смещения: для транзистора структуры p-n-p — отрицательное, для транзистора структуры n-p-n положительное. Наиболее простой способ подачи напряжения смещения — это соединение базы транзистора с соответствующим проводником источника питания через резистор. В данном случае такую функцию выполняет резистор R2.

В усилителе можно использовать любой из германиевых транзисторов серий МП39 — МП42, ГТ308. А чтобы германиевый транзистор открыть, на его базу относительно эмиттера достаточно подать всего 0,1 В. Нетрудно подсчитать (по закону Ома), что такое напряжение можно создать на эмиттерном переходе, сопротивление которого примем равным 1000 Ом, ток 100 мкА (0,001 А). При этом в зависимости от коэффициента передачи тока $h_{21э}$ коллекторный ток транзистора может достигать 0,8...1 мА. Примерно в такой режим работы и ставят обычно маломощный транзистор, чтобы он при усилении не искажал сигнал. Дальнейшее увеличение напряжения смещения, а значит, и тока коллектора не имеет смысла, так как от этого усиление сигнала не возрастет, а лишь увеличится расход энергии на питание транзистора. А если напряжение смещения на базе окажется слишком большим? Транзистор также будет искажать сигнал и, кроме того, станет нагреваться из-за большого тока коллектора. Такой ток должен быть и в коллекторной цепи маломощного кремниевого транзистора, но при напряжении смещения на базе 0,5...0,6 В.

Коллекторный ток, соответствующий работе транзистора в режиме усиления, радиолюбители обычно устанавливают подбором резистора, через который на базу подается напряжение смещения. На схеме этот резистор обозначают звездочкой, символизирующей подбор. Проводник коллекторной цепи этого транзистора пересекают двумя косыми линиями — крестом, а возле него указывают ориентировочный ток покоя, т. е. коллекторный ток транзистора в отсутствие сигнала на базе. Это — статический режим работы транзистора. При подаче сигнала на вход усилителя коллекторный ток станет изменяться, и тем значительнее, чем больше напряжение входного сигнала. Это — динамический режим работы транзистора.

Ориентировочное сопротивление резистора смещения R2, отмеченного звездочкой, можно подсчитать простым умножением сопротивления нагрузки на удвоенное значение коэффициента передачи тока транзистора, используемого в усилителе. Предположим, коэффициент $h_{21э}$ транзистора равен 50, а сопротивление излучателей высокоомного головного телефона, соединенных последовательно, составляет 4 кОм. Следовательно, сопротивление резистора R2 усилителя твоего первого транзисторного приемника должно быть примерно 400 кОм. Но это, повторяю, ориентировочное сопротивление резистора смещения. Во время подгонки заданного режима оно в зависимости от коэффициента $h_{21э}$ транзистора может значительно отличаться от расчетного.

Детали усилителя и резистор R1 смонтируй на картонной панели примерно в том порядке, как показано на рис. 92. Выводы деталей пропускай через отверстия в панели и, не наращивая, соединяй снизу. Места соединений обязательно пропаивай. Не ошибись: при включении транзистора его коллекторный вывод должен соединяться через телефоны с отрицательным полюсом батареи питания, эмиттерный — непосредственно с заземленным (плюсовым) проводником, а базовый — через конденсатор C4 с верхним (по схеме) выводом резистора R1.

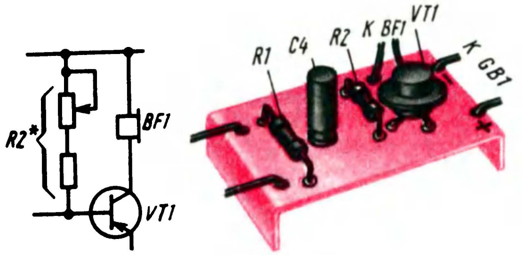


Рис. 92. Монтаж усилителя и схема подгонки режима работы транзистора с помощью переменного резистора

В усилителе используй транзистор со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$, равным 50...60. Конденсатор C4 — типа К50-6 или К50-3 на номинальное напряжение не менее 6 В. Через резисторы R1 и R2 текут незначительные токи, поэтому их выбирают на мощность рассеяния 0,125 Вт (МЛТ-0,125). Сопротивление резистора R1 может быть в пределах 6,8...10 кОм.

Если в усилителе будешь использовать транзистор структуры n-p-n, например КТ315, то не забудь изменить полярность включения батареи питания и оксидного конденсатора C4.

Прежде чем подключить батарею, проверь монтаж усилителя по принципиальной схеме — нет ли ошибок? К входу усилителя подключи выход любого из тех детекторных приемников, с которыми ты экспериментировал в третьей беседе. Подключи к контуру приемника антенну и заземление, а параллельно резистору R1 — высокоомные головные телефоны. Настрой приемник на местную радиостанцию. Затем телефоны включи в коллекторную цепь транзистора, а резистор R2 временно замени двумя соединенными последовательно резисторами: постоянным с номинальным сопротивлением 20...30 кОм и переменным сопротивлением 220...300 кОм. Постоянный резистор в этой цепочке нужен для того, чтобы избежать попадания на базу транзистора полного напряжения батареи, из-за чего он может испортиться. Движок переменного резистора, включенного реостатом, поставь в положение наибольшего введенного сопротивления (по схеме на рис. 92 — в крайнее верхнее), а затем, подсоединив батарею, медленно уменьшай сопротивление переменного резистора. При этом громкость звучания телефонов должна постепенно нарастать, но только до некоторого предела, после которого появятся искажения и звук в телефонах пропадет. Поставь движок переменного резистора в такое положение, когда звук в телефонах наиболее громкий и неискаженный.

Установка режима работы транзистора «на слух» — наиболее простой способ налаживания усилителя приемника. Лучше, однако, делать это с помощью миллиамперметра, включенного в разрыв коллекторной цепи транзистора, отмеченный на схеме крестом. Постепенно уменьшая сопротивление резистора в базовой цепи транзистора, надо добиваться, чтобы ток в коллекторной цепи был 0,7...0,8 мА. Такой ток будет соответствовать нормальному режиму работы транзистора. Если при наибольшей громкости усилитель будет возбуждаться (в телефонах появятся звуки высокой тональности, ухудшающие качество радиоприема), то параллельно телефонам или между коллектором транзистора и заземленным проводником источника питания включи конденсатор емкостью примерно 0,01 мкФ (на схеме рис. 91 он показан штриховыми линиями). Свистящие звуки должны исчезнуть. Заменяя его конденсаторами других емкостей, примерно до 0,05 мкФ, можно опытным путем подобрать наиболее приятный тон звучания телефонов.

Можно ли в коллекторную цепь транзистора включить низкоомные головные телефоны или электромагнитный телефонный капсюль ДЭМ-4м? Можно! Режим работы транзистора и в этом случае устанавливай временной цепочкой подстроечных резисторов, добиваясь наибольшей громкости звучания телефонов. Но теперь ток коллекторной цепи будет немного больше, чем с высокоомными телефонами. Можно пойти и по другому пути: в коллекторную цепь транзистора включить резистор, а головные телефоны, будь они высокоомными или низкоомными — безразлично, или телефонный капсюль ДЭМ-4м подключить через конденсатор параллельно участку эмиттер — коллектор транзистора, как показано на рис. 93. В этом случае резистор R3 будет выполнять

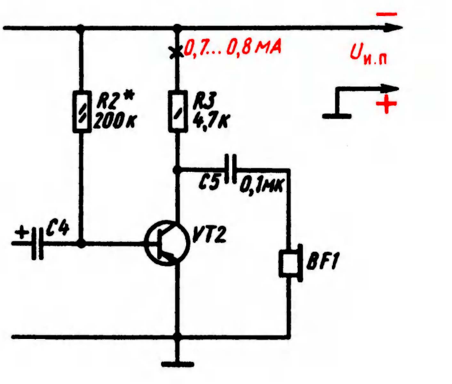


Рис. 93. Схема усилителя с резистивной нагрузкой

функцию нагрузки транзистора. Создающиеся на нем колебания звуковой частоты, т. е. низкочастотная составляющая коллекторного тока, через конденсатор C5 будут поступать к телефонам BF1 и преобразовываться ими в звуковые колебания. Конденсатор C5 может быть оксидным емкостью 1...5 мкФ на номинальное напряжение не менее чем напряжение источника питания $U_{и.п}$. Если транзистор структуры p-n-p, то оксидный конденсатор выводом отрицательной обкладки должен подключаться к коллектору транзистора, а выводом положительной обкладки к телефонам.

Каким должно быть сопротивление нагрузочного резистора R3? Такое, чтобы в режиме покоя на коллекторе относительно эмиттера, т. е. на участке эмиттер — коллектор, было напряжение, равное примерно половине напряжения источника питания. При этом эффективность работы транзистора будет наилучшей. Такому условию отвечают резисторы сопротивлением в несколько килоом, обычно от 3 до 5,1 кОм. И в этом случае режим работы транзистора устанавливай подбором сопротивления цепочки резисторов в его базовой цепи.

На этом, по существу, и заканчивается процесс налаживания усилителя. Остается только измерить омметром суммарное сопротивление временной цепочки резисторов, впаять в базовую цепь транзистора резистор такого же или ближайшего номинала, еще раз проверить работу приемника и смонтировать детали детекторного приемника и усилителя на постоянной панели. Но этим, если захочешь, ты займешься позже самостоятельно. Сейчас же я предлагаю проверить в работе некоторые варианты однотранзисторного приемника.

ВАРИАНТЫ ОДНОТРАНЗИСТОРНОГО ПРИЕМНИКА

Прежде всего включи в цепь питания последовательно еще одну батарею 3336, чтобы увеличить напряжение источника питания до 9 В, и точно так же переменным резистором добейся наиболее громкого и неискаженного приема сигналов той же радиостанции. Теперь телефоны будут звучать немного громче. Это потому, что, увеличивая напряжение источника питания, ты тем самым повышаешь напряжение на коллекторе транзистора и, следовательно, его усиление. Затем замени батарею питания одним элементом типа 332 или 343. Теперь, чтобы добиться наиболее громкого приема, сопротивление подстроечной цепочки резисторов придется уменьшить. Телефоны будут звучать тише.

Зависит ли громкость звучания телефонов от статического коэффициента передачи тока $h_{21э}$ транзистора? Конечно, и значительно больше, чем от напряжения источника питания. А чем больше $h_{21э}$ используемого транзистора и напряжение источника питания, тем больше должно быть сопротивление резистора в базовой цепи транзистора. В твоем распоряжении могут оказаться транзисторы с малым коэффициентом $h_{21э}$, например, равным 10...15. Транзистор с таким $h_{21э}$ даст меньшее усиление низкочастотного сигнала и телефоны будут звучать тише. Но и в этом случае можно добиться громкого радиоприема, если в усилителе будет работать не один, а два таких транзистора. Соедини их так, как показано на рис. 94: коллекторы транзисторов вместе, а эмиттер первого транзистора VT1 с базой второго транзистора VT2. Получится так называемый составной транзистор VT1VT2. Усиление составного транзистора приблизительно равно произведению $h_{21э}$ входящих в него транзисторов. Так если $h_{21э}$ каждого из транзисторов 25, то общий коэффициент усиления составного транзистора будет около 200.

Проверь работу составного транзистора в твоем опытном приемнике. При этом учти: первым транзистором (VT1) должен быть тот из составляемых транзисторов, у которого обратный ток коллекторного перехода $I_{КБО}$ меньше.

Обязательно ли конденсатор C4 должен быть оксидным? Нет, но его емкость должна быть большой, во всяком случае не меньше 1 мкФ, чтобы оказывать возможно меньшее емкостное сопротивление напряжению звуковой частоты. Среди малогабаритных бумажных нет конденсаторов, обладающих такими емкостями. А если в этом связующем узле приемника будет

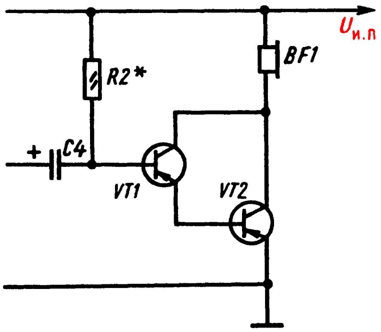


Рис. 94. Усилитель приемника с составным транзистором

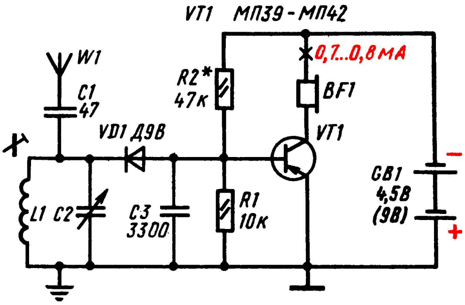


Рис. 95. Схема возможного варианта однотранзисторного приемника

стоять конденсатор меньшей емкости, то на нем будет падать бо́льшая часть напряжения тока звуковой частоты, чем на эмиттерном p-n переходе транзистора, из-за чего будет проигрыш в усилении. Чтобы снизить потери, емкостное сопротивление конденсатора С4 должно быть по крайней мере в 3—5 раз меньше входного сопротивления транзистора. Этому требованию и отвечают оксидные конденсаторы.

А нельзя ли вообще обойтись без связующего конденсатора, соединив базу транзистора непосредственно с резистором, выполняющим функцию нагрузки детектора? Можно, если предварительно изменить полярность включения диода VD1. В этом случае схема приемника примет вид, показанный на рис. 95. Теперь резисторы R1 и R2 образуют делитель, подключенный к батарее, с которого на базу транзистора снимается начальное напряжение смещения. Основной же нагрузкой де́тектора становится уже не резистор R1, как было в предыдущем варианте приемника, а эмиттерный переход транзистора. А так как сопротивление эмиттерного перехода меньше сопротивления резистора R1, этот резистор вообще можно исключить из приемника. Режим работы транзистора устанавливай так же — подбором резистора R2.

В этом варианте приемника полярность включения диода VD1 должна быть обязательно такой, как показано на рис. 95. Почему? Чтобы по постоянному току база транзистора не оказалась замкнутой на эмиттер. Объясняется это очень просто. На базе транзистора относительно эмиттера действует отрицательное напряжение, равное примерно 0,1 В. И если с ней будет соединен не анод диода, а катод, то диод откроется, через него и контурную катушку L1 потечет прямой ток, в результате чего диод перестанет выполнять функцию детектора.

А если в таком варианте приемника будет использован n-p-n транзистор, например КТ315Б? Тогда полярность включения диода должна остаться прежней, а батареи питания GB1 — обратной, чтобы на коллекторе и базе транзистора было положительное напряжение относительно эмиттера. Схема такого варианта приемника приведена на рис. 96. Испытай такой приемник в работе. Режим транзистора устанавливаемый подбором резистора R2 «на слух».

Из опытного приемника можно совсем исключить диод. Но тогда его транзистор должен быть полевым, желательно высокочастотным, например серии КП302. Принципиальная схема такого варианта приемника показана на рис. 97. Используемый в нем транзистор, включенный по схеме ОИ, с каналом n типа, поэтому стрелка, символизирующая затвор, направлена к каналу, а на сток подается (через телефоны BF1) положительное напряжение источника питания GB1. Между входным колебательным контуром L1C2 (может быть любым) и затвором транзистора включен конденсатор С3 (100...150 пФ), а между затвором и истоком — резистор R1 (750 кОм...1,5 МОм). Головные телефоны, включенные в цепь стока, заблокированы конденсатором С4 (2200...3300 пФ). Источником питания служит батарея GB1 напряжением 9 В (две батареи 3336, соединенные

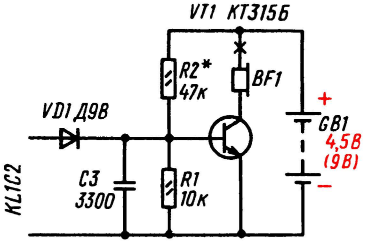


Рис. 96. Вариант приемника на n-p-n транзисторе

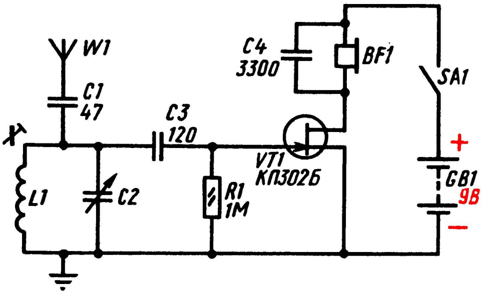


Рис. 97. Схема приемника на полевом транзисторе

последовательно). Питание включают выключателем SA1.

Как в таком приемнике происходит детектирование модулированных колебаний радиочастоты? Роль детектора в нем выполняет p-n переход между затвором и каналом. Действуя как выпрямитель, он создает на резисторе R1 слабые колебания звуковой частоты, которые усиливаются транзистором и преобразуются телефонами в звуковые колебания. Конденсатор C4, блокирующий телефоны по высокой частоте, выполняет ту же роль, что и аналогичный ему конденсатор детекторного приемника.

Входное сопротивление полевого транзистора огромно – в тысячи раз больше входного сопротивления биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ. Это преимущество полевого транзистора и позволило использовать его в приемнике для одновременного детектирования радиочастотной составляющей и усиления колебаний звуковой частоты.

Как показывает практика, в таком режиме неплохо работает и низкочастотный полевой транзистор серии КП103 с любым буквенным индексом. Используя его в таком варианте приемника, полярность включения батареи питания должна быть обратной, потому что он с каналом p типа. Соответственно и на его схемном изображении стрелка затвора должна быть обращена от канала.

ГРОМКИЙ РАДИОПРИЕМ

Мощность электрических колебаний, возбуждающихся в контуре приемника, очень мала. Ее достаточно бывает только для работы такого чувствительного прибора, каким является электромагнитный телефон. Лишь в исключительных случаях, когда радиостанция находится неподалеку от места приема, на выходе детекторного приемника может работать абонентский (радиотрансляционный) громкоговоритель. В обычных же условиях громкий радиоприем возможен только при многократном усилении сигналов радиостанций и выделенных из них колебаний звуковой частоты, для чего используют транзисторы, как ты делал в этой беседе, и микросхемы, что тебе еще предстоит делать.

Различают усилители радиочастоты (РЧ) и усилители звуковой частоты (ЗЧ). Как говорит само название, первые из них применяют для усиления модулированных сигналов радиостанций, т. е. до того, как они будут продетектированы, а вторые — для усиления колебаний звуковой частоты, т. е. после детектора. Если между колебательным контуром и детектором включить усилитель РЧ, а после детектора — усилитель ЗЧ, то выходным элементом приемника может быть более мощный, чем телефон, преобразователь колебаний звуковой частоты в звук — динамическая головка прямого усиления.

Структурная схема такого приемника показана на рис. 98. Функции входного колебательного контура, детектора и динамической головки громкоговорителя в этом приемнике такие же, как и функции аналогичных им элементов детекторного приемника. Только здесь после детектора действуют более мощные колебания звуковой частоты, которые к тому же дополнительно усиливает усилитель ЗЧ. Получился радиоаппарат, обеспечивающий громкий радиоприем, в том числе отдаленных вещательных станций.

В приемнике такой структуры происходит только одно преобразование колебаний радиочастоты — детектирование. До детектора стоит усилитель РЧ, а за детектором – усилитель ЗЧ. Приемники, в которых происходит только такое преобразование принятого модулированного радиочастотного сигнала, называют *приемниками прямого усиления*. Их характеризуют условной формулой, в которой детектор обозначают латинской буквой V, число каскадов усиления колебаний радиочастоты указывают цифрой, стоящей перед этой буквой, число каскадов усиления колебаний звуковой частоты — цифрой после этой буквы. Например, в приемнике 1-V-2 кроме детектора есть один каскад усиления колебаний радиочастоты и один каскад усиления колебаний звуковой частоты.

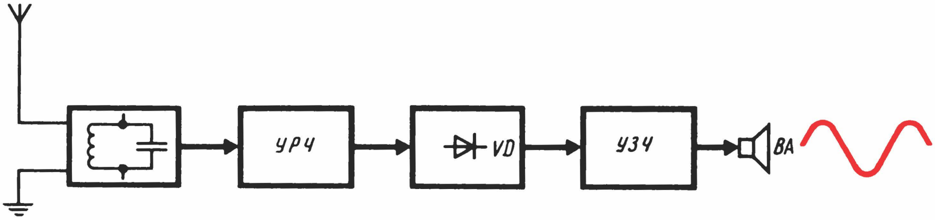


Рис. 98. Структурная схема приемника, обеспечивающего громкий радиоприем

В приемниках, о которых шел разговор в этой беседе, был детектор и один каскад усиления колебаний звуковой частоты. Это, следовательно, приемники прямого усиления 0-V-1. Вообще же в простых транзисторных приемниках может не быть каскадов усиления РЧ или ЗЧ. А в более сложных... Впрочем, разговор об этом пойдет в двенадцатой беседе.

⁂

Способом подгонки режима работы транзистора «на слух» радиолюбители, особенно начинающие, пользуются часто. Но он, конечно, не очень техничен и, кроме того, не всегда дает хорошие результаты. Правильнее пользоваться измерительными приборами: ток покоя коллекторной цепи транзистора измерять миллиамперметром; напряжение на коллекторе или смещение на базе — вольтметром постоянного тока; сопротивление резисторов, в том числе и тех, подбором которых устанавливают рекомендуемые режимы работы транзисторов,— омметром. Полезно также проверить годность транзистора и, прежде чем его вмонтировать, измерить основные его параметры. Эти и некоторые другие измерительные приборы могут быть самодельными, о чем и пойдет речь в следующей беседе.

БЕСЕДА СЕДЬМАЯ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ

Не было, пожалуй, ни одной беседы, в которой бы я не говорил об электрических измерениях, измерительных приборах. И это не случайно — без измерений трудно, а подчас невозможно понять суть того или иного электрического явления, заставить нормально работать то или иное радиотехническое устройство.

Нередки случаи, когда собранный приемник или усилитель работает плохо или вообще молчит. А между тем виновником этого часто бывает сам радиолюбитель: в одном месте недостаточно хорошо сделал пайку, в другом — плохо изолировал проводники и соединение, в третьем — установил непроверенную деталь или перепутал выводы транзистора. И вот результат: приемник отказывается работать вообще или работает очень плохо. Такие или подобные неприятности надо предупреждать. Но если они все же появляются, причины их надо уметь быстро находить и устранять. В этом тебе должны помогать различные пробники и измерительные приборы, которые всегда должны быть под рукой.

Помнишь свои первые практические радиолюбительские шаги — постройку детекторного приемника? Тогда можно было обходиться без измерительных приборов, потому что все было просто: несколько деталей, две взаимосвязанные цепи — вот и весь приемник. Но иное дело — транзисторный приемник или усилитель. Даже самый простой из них, например однотранзисторный, с которым ты познакомился в предыдущей беседе, уже требует применения миллиамперметра для его налаживания. Без измерительного прибора не удастся поставить транзистор в наиболее выгодный режим работы и получить от него максимальное усиление. А ведь чем сложнее конструкция, тем больше нужно иметь измерительных приборов. Чтобы, например, наладить транзисторный усилитель ЗЧ даже средней сложности или аппаратуру телеуправления моделями, потребуются еще вольтметр с большим входным сопротивлением, звуковой генератор и некоторые другие измерительные приборы. Без них лучше не браться *за постройку такой аппаратуры — не имеет смысла зря тратить время, силы, портить детали и материалы.*

Но в этой беседе я расскажу тебе лишь о тех измерительных пробниках и приборах, без которых просто невозможно повышать свои радиотехнические знания. Назовем их приборами первой необходимости. А более сложной измерительной технике, которая потребуется позже, будет посвящена специальная беседа.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОБНИКИ

Телефонный пробник. Самый простой пробник можно сделать из электромагнитного телефона и батареи 3336. Соедини их последовательно, как показано на рис. 99. Вот и весь прибор. Свободным штепселем телефона и вторым выводом батареи ты будешь подключать его к проверяемой детали, цепи.

Пользоваться пробником следует в таком порядке. Сначала испытай сам прибор, коснувшись свободным штепселем телефона свободного полюса батареи. В телефоне должен быть слышен довольно сильный звук, напоминающий щелчок. Такой же щелчок слышен в телефоне при отключении его от батареи. Если щелчки слышны, значит, пробник исправен.

Чтобы проверить, нет ли обрыва в контурной катушке, обмотке трансформатора или дросселе, надо подключить к ним пробник. Если катушка или обмотка исправна, через нее идет ток. В моменты замыкания и размыкания цепи в телефоне слышны резкие щелчки. Если в катушке имеется обрыв, ток через нее не пойдет и никаких щелчков в телефоне не будет. В трансформаторе таким способом можно проверить каждую его обмотку.

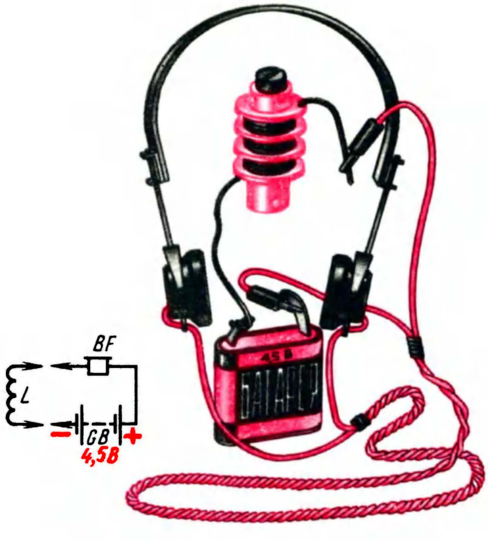


Рис. 99. Телефонный пробник

Точно так же проверяй и конденсаторы. Если конденсатор вполне исправен, то при первом замыкании цепи в телефоне пробника будет слышен щелчок, а при размыкании цепи щелчка не будет. Чем больше емкость конденсатора, тем щелчок сильнее. Щелчок вызывается током зарядки конденсатора, идущим через телефон. У конденсатора малой емкости ток зарядки мал, а потому щелчок будет очень слабым или он совсем не будет прослушиваться. А если при испытании конденсатора будет слышен щелчок не только при замыкании, но и при размыкании цепи, это укажет на плохое качество диэлектрика или на то, что конденсатор пробит. Для проверки конденсатора переменной емкости нужно включить его в цепь пробника и медленно вращать ось подвижных пластин. Если при каком-то положении оси в телефоне слышен треск, значит, в этом месте подвижные и неподвижные пластины замыкаются. Осмотрев конденсатор, надо найти место касания пластин и устранить неисправность.

Аналогично с помощью телефонного пробника можно проверить надежность соединения проводников, определить, цела ли нить лампы накаливания, и многое другое. А вот определить таким пробником годность батареи нельзя, так как в телефоне будет слышен сильный щелчок и при разрядившейся батарее, уже не способной накаливать нить лампы или питать транзисторный приемник.

Универсальный пробник. С помощью такого пробника (рис. 100) ты сможешь не только проверить деталь, контакт, но и «прослушать» работу многих цепей приемника или усилителя. Он представляет собой панель размерами примерно 40 × 60 мм на стойках, на которой смонтированы гнезда для телефона и щупов, диод VD1 (любой точечный), конденсатор C1 емкостью 0,01...0,02 мкФ и элемент G1 напряжением 1,5 В (332 или 316). Щупами *а* и *б* приборчик подключают к испытываемым цепям приемника или усилителя, проверяемым деталям. Штепсельная вилка щупа *а* постоянно вставлена в общее для всех измерений гнездо «Общ.», переключается только щуп *б*. Когда штепсельная вилка щупа *б* находится в гнезде X1,

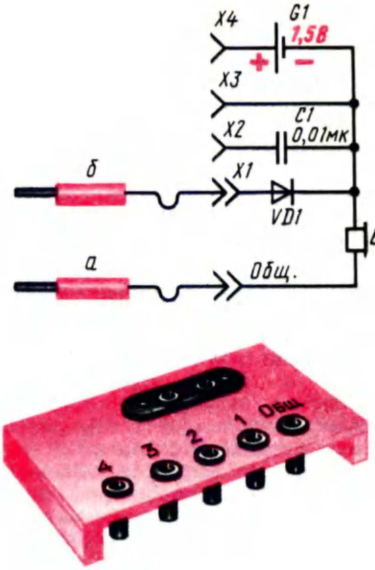


Рис. 100. Универсальный пробник

телефон подключают к испытываемой цепи через диод: когда она вставлена в гнездо X2 — через конденсатор, а когда вставлена в гнездо X3, телефон подключают непосредственно к испытываемой цепи.

Первое включение пробника используй для «прослушивания» радиочастотных цепей приемника. В этом случае модулированные колебания радиостанции, на которую приемник настроен, детектируются диодом, а получаемые колебания звуковой частоты преобразуются телефоном в звук. Второе и третье включения щупа применяй для проверки цепей звуковой частоты; когда щуп вставлен в гнездо X2, конденсатор преграждает путь постоянной составляющей тока через телефон, пропуская через него только составляющую звуковой частоты; когда же он вставлен в гнездо X3, через телефон может идти как постоянный ток, так и токи звуковой частоты. Последнее, четвертое, включение щупа (в гнездо X4) соответствует использованию пробника для испытания деталей — так же, как телефонным пробником.

Радиотрансляционная сеть в роли звукового генератора. Наиболее распространенный способ проверки работоспособности усилителя ЗЧ — с помощью звукоснимателя, включенного на вход усилителя. Во время проигрывания грампластинки звукосниматель развивает напряжение звуковой частоты до нескольких десятых долей вольта, а иногда и больше. Чем меньше напряжение на входе усилителя, при котором усилитель работает с полной отдачей и при этом не искажает звук, тем выше его чувствительность.

Но источником, как бы генератором напряжения ЗЧ, может стать радиотрасляционная сеть, если действующее в ней напряжение понизить до нескольких долей вольта. Схему такого прибора и его конструкцию ты видишь на рис. 101. Сигнал звуковой частоты радиотрансляционной сети подают на вход усилителя через делитель напряжения, составленный из постоянного резистора R1 и переменного резистора R2, включенного потенциометром. Для радиотрансляционной сети напряжением 15 В (в крупных городах) сопротивление резистора R1 должно быть 150 кОм, емкость конденсатора C1 100 пФ, а для сети напряжением 30 В — соответственно 300 кОм и 51 пФ. Что же получается? Почти все напряжение сети падает на резисторе R1, и только небольшая часть его, примерно 0,1...0,2 В, приходится на резистор R2. С него-то и подается сигнал на вход усилителя ЗЧ. При перемещении движка переменного резистора на вход усилителя можно подавать напряжение звуковой частоты от нуля (движок R2 в крайнем нижнем по схеме положении) до 0,1...0,2 В (движок R2 в крайнем верхнем положении) и таким образом проверять чувствительность и качество работы усилителя в целом и его каскадов. Конденсатор C2 выполняет роль элемента связи, а C1 — роль корректирующего конденсатора (для наиболее высоких звуковых частот, впрочем, он не обязателен).

Прибор смонтируй на гетинаксовой плате размерами примерно 40 × 70 мм. На плату под ручкой переменного резистора можно приклеить шкалу с делениями, по которым можно было бы приблизительно судить о выходном напряжении. Нижний (по схеме) выходной проводник желательно снабдить зажимом типа

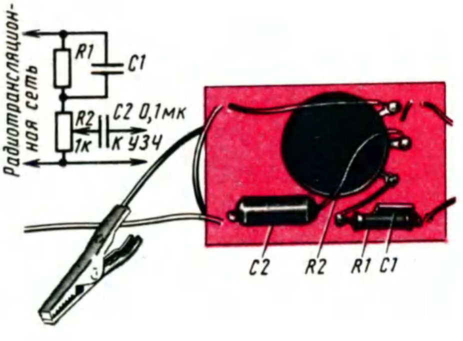


Рис. 101. Схема и конструкция делителя напряжения радиотрансляционной сети

«крокодил», а верхний, идущий от конденсатора C2, щупом — отрезком толстого провода, заключенного в изоляционную трубку. Зажимом «крокодил» ты будешь подключать прибор к общим цепям усилителя, а щупом — к входным цепям каскадов усилителя.

Должен тебя предупредить: подавать на вход усилителя полное напряжение радиотрансляционной сети нельзя — из-за недопустимо большого входного сигнала активные элементы усилителя могут выйти из строя.

Простейший генератор сигналов. Это тоже пробник, но более универсальный, чем предыдущий, так как с его помощью можно проверить не только тракт звуковой частоты приемника, но и радиочастотный.

Принципиальная схема и одна из возможных конструкций такого прибора изображены на рис. 102. Это так называемый мультивибратор, представляющий собой разновидность генераторов электрических колебаний. Подробно о принципе работы и многообразии применения мультивибратора, особенно в электронной автоматике, наш разговор пойдет в четырнадцатой беседе. Сейчас же лишь скажу, что он генерирует колебания не только какой-то одной, основной частоты, но и множество колебаний кратных частот, называемых гармониками, вплоть до частот коротковолнового диапазона.

Генератор двухтранзисторный. Напряжение сигнала снимается с резистора R4, являющегося нагрузкой транзистора VT2, и через разделительный конденсатор C3 подается на вход проверяемого усилителя или приемника. Если усилитель или приемник исправны, в головке громкоговорителя слышен неискаженный звук тональности, соответствующей частоте колебаний генератора. Основная частота генерируемого сигнала около 1 кГц, амплитуда выходного сигнала — не более 0,5 В. Для питания прибора используй один элемент 332. Ток, потребляемый генератором, не превышает 0,5 мА. Это значит, что элемент может питать прибор практически более года, т. е. до полного саморазряда.

Транзисторы VT1 и VT2 — любые маломощные, с любым коэффициентом $h_{21э}$. Важно лишь, чтобы они были исправными. Без каких-либо изменений в схеме и конструкции можно использовать p-n-p транзисторы серии КТ361. А если транзисторы серии КТ315, то надо будет изменить полярность включения элемента G1.

Правильно собранный прибор начинает работать сразу после включения питания и никакой накладки не требует. Проверить работу генератора можно, подключив к его выходу высокоомные телефоны — в телефонах будет слышен звук средней тональности. Частоту основных колебаний генератора можно изменить использованием в нем конденсаторов C1 и C2 других емкостей. С увеличением емкостей этих конденсаторов частота колебаний уменьшается, а с уменьшением — увеличивается.

Детали генератора, показанного на рис. 102, смонтированы на гетинаксовой плате размером 50 × 70 мм. Элемент 332 (G1), с которого удалена бумажная этикетка, укреплен на плате жестяным хомутиком, являющимся выводом отрицательного полюса элемента. Выключатель питания необязателен — на время пользования генератором можно замыкать проводники плюсовой цепи питания.

Как и в предыдущем пробнике, плюсовой (общий) проводник выхода генератора целесообразно снабдить зажимом «крокодил», а второй проводник, идущий от конденсатора C3, сделать в виде щупа. А чтобы предотвратить

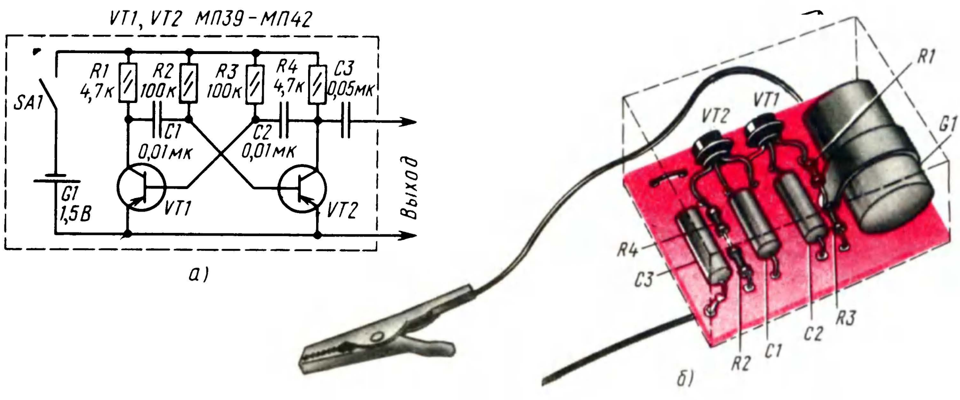


Рис. 102. Схема (*а*) и конструкция (*б*) простейшего генератора сигналов

«просачивание» сигнала в цепи проверяемого приемника или усилителя, минуя выходную цепь генератора, прибор следует заключить в экран (на схеме показан штриховыми линиями) и соединить его с плюсовым проводником. Роль такого экрана может выполнять жестяная коробка или алюминиевая фольга (обертка шоколада), которая должна быть изолирована от других цепей генератора.

Но конструкция прибора может быть иной. Можно, например, детали смонтировать плотно на узкой плате и разместить ее в корпусе неисправного оксидного конденсатора. Генератор может быть совсем маленьким, если в нем будут малогабаритные детали и если питать его от дискового аккумулятора типа Д-0,06.

Простые пробники, о которых я здесь рассказал, это только часть приборов самой первой необходимости. А как быть с измерениями токов и напряжений, без чего нельзя проверить и установить нужный режим работы аппаратуры, с измерением параметров транзисторов? Для таких и ряда других измерений потребуется стрелочный измерительный прибор.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ты уже знаешь, что токи измеряют амперметрами, миллиамперметрами или микроамперметрами, напряжения — вольтметрами, а то и милливольтметрами. Несмотря на различия в наименованиях, все эти приборы работают принципиально одинаково: отклонение стрелки показывает, что через прибор течет ток. Чем больше ток, тем больше отклонение стрелки прибора. А шкалу прибора в зависимости от того, для каких измерений он приспособлен, градуируют соответственно в амперах, миллиамперах, вольтах. Так же работает и омметр — прибор для измерения сопротивлений резисторов, цепей.

Существует несколько систем стрелочных приборов: электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические. Для радиотехнических же измерений пригодны главным образом приборы магнитоэлектрической системы, обладающие по сравнению с приборами других систем рядом преимуществ, в том числе высокой чувствительностью, большой точностью результатов измерений и равномерностью шкал.

Чтобы лучше уяснить принцип работы электроизмерительного прибора такой системы, предлагаю провести опыт с моделью этого прибора. Ее конструкция показана на рис. 103.

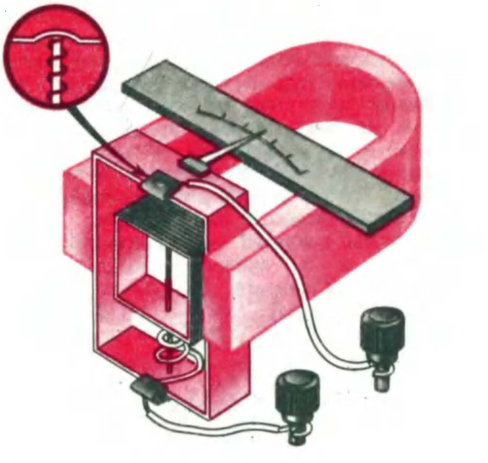


Рис. 103. Модель прибора магнитоэлектрической системы

Из тонкого картона вырежь две полоски шириной 12...15 мм и склей из них рамки: квадратную со сторонами длиной 20 мм и прямоугольную со сторонами 30 и 40 мм. Чтобы углы рамки были прямыми, картон с наружной стороны изгибов надрежь ножом. В квадратную рамку вставь ось — швейную иглу длиной 40 мм, проколов ею противоположные стороны рамки. Намотай на эту рамку 150...200 витков провода ПЭВ-1 0,15...0,25, уложив их поровну по обе стороны от оси. Чтобы витки не сползали, готовую катушку скрепи тонким слоем клея БФ-2, «Момент» или кусочками липкой ленты.

Один конец провода длиной 5...6 см получившейся катушки с предварительно удаленной эмалью намотай на иглу и закрепи в ушке. Другой конец такой же длины пропусти петлей через проколы в каркасе и сверни спиралью. В средней части верхней стороны второй рамки закрепи полоску жести, предварительно сделав в ней небольшое углубление для тупого конца иглы; она же будет служить и выводным контактом катушки. Спиралевидный конец провода катушки припаяй к жестяной скобке, обжимающей край картона нижней стороны рамки. Изгибая витки спирали, установи катушку так, чтобы ее плоскость была параллельна плоскости внешней рамки. Легко вращаясь на оси в обе стороны, катушка под действием пружинящей спирали должна возвращаться в исходное положение.

Помести катушку между полюсами подковообразного магнита и подключи к ней через лампу карманного фонаря батарею 3336. Образуется электрическая цепь. Лампа загорится, а магнитное поле тока в катушке, взаимодействуя с полем магнита, заставит ее повернуться на некоторый угол. Чем меньше ток в катушке, тем меньше угол поворота катушки. В этом нетрудно убедиться, включив последовательно в цепь катушки отрезки проволоки сопротивлением в несколько Ом. Измени включение полюсов батареи на обратное или переверни магнит. Теперь катушка будет поворачиваться в противоположном направлении.

К рамке катушки можно приклеить легкую стрелку, а к магниту — полоску плотной бумаги с делениями. Получится простейший прибор, которым можно грубо измерять постоянный ток. А если в измерительную цепь включить диод, он будет реагировать и на переменный ток.

Устройство стрелочного прибора магнитоэлектрической системы — приборов типа М24 и М49 — показано на рис. 104. Измерительный механизм прибора состоит из неподвижной магнитной системы и подвижной части, связанной с отсчетным приспособлением. В магнитную систему входят постоянных магнит 2 с полюсными наконечниками 3 и цилиндрический сердечник 10. Полюсные наконечники и сердечник изготовлены из магнитомягкого материала («мягкими» называют сплавы железа, обладающие малым магнитным сопротивлением, но сами не намагничивающиеся). Воздушный зазор между полюсными наконечниками и сердечником везде одинаков, благодаря чему в зазоре устанавливается равномерное магнитное поле, что является обязательным условием для равномерности шкалы.

Подвижная часть механизма прибора состоит из рамки 11, двух кернов-полуосей 5, рамки, двух плоских спиральных пружин 8 и стрелки 1 отсчетного приспособления с противовесами 9. Рамка представляет собой катушку, намотанную изолированным медным или алюминиевым проводом на прямоугольном каркасе из тонкой бумаги или фольги (рамки приборов особо высокой чувствительности бескаркасные). Керны служат осью вращения рамки. Для уменьшения трения концы подпятников 4, на которые опираются керны, выполняют из полудрагоценных камней. Керны прикреплены к рамке с помощью буксов.

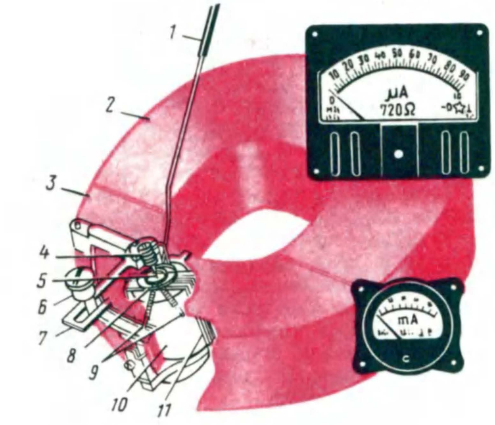


Рис. 104. Устройство измерительного механизма магнитоэлектрической системы и внешний вид приборов М24 и М49

Спиральные пружины, изготовляемые обычно из ленты фосфористой бронзы, создают противодействующий момент, который стремится возвратить рамку в исходное положение при ее отклонении. Они, кроме того, используются и как токоотводы. Наружный конец одной из пружин скреплен с корректором. Корректор, состоящий из эксцентрика 6, укрепленного на корпусе прибора, и рычага 7, соединенного с пружиной, служит для установки стрелки прибора на нулевое деление шкалы. При повороте эксцентрика поворачивается и рычаг, вызывая дополнительное закручивание пружины. Подвижная часть механизма при этом поворачивается, и стрелка отклоняется на соответствующий угол.

Электроизмерительный прибор этой системы, как и его модель, которую, надеюсь, ты испытал, работает следующим образом. Когда через рамку течет постоянный ток, вокруг нее возникает магнитное поле. Это поле взаимодействует с полем постоянного магнита, в результате чего рамка вместе со стрелкой поворачивается, отклоняясь от первоначального положения. Отклонение стрелки от нулевой отметки будет тем большим, чем больше ток в катушке. При повороте рамки спиральные пружины закручиваются. Как только прекращается ток в рамке, пружины возвращают ее, а вместе с нею и стрелку прибора в нулевое положение.

Таким образом, прибор магнитоэлектрической системы является не чем иным, как преобразователем постоянного тока в механическое усиление, поворачивающее рамку. О значении этого тока судят по углу, на который под его воздействием смогла повернуться рамка.

Основных электрических параметров, по которым можно судить о возможном применении прибора для тех или иных измерений, два: ток полного отклонения стрелки $I_{и}$, т. е. наибольший (предельный) ток, при котором стрелка отклоняется до конечной отметки шкалы, и сопротивление рамки прибора $R_{и}$. О первом параметре прибора обычно говорит его шкала. Так, если на шкале написано µA (микроамперметр) и возле конечной отметки шкалы стоит число 100, значит, ток полного отклонения стрелки равен 100 мкА (0,1 мА). Такой прибор можно включать только в ту цепь, ток в которой не превышает 100 мкА. Бо́льший ток может повредить прибор. Значение второго параметра $R_и$, необходимого при расчете конструируемых измерительных приборов, часто указывают на шкале. Для комбинированного измерительного прибора, о котором я буду рассказывать в этой беседе, потребуется микроамперметр на ток 100 мкА, желательно с большой шкалой, например такой, как М24. Чем меньше ток, на который рассчитан прибор, и больше шкала, тем точнее будет конструируемый на его базе измерительный прибор.

Как узнать систему данного прибора, не разбирая его? Для этого достаточно взглянуть на условный знак на шкале. Если он изображает подковообразный магнит с прямоугольником между его полюсами, значит, прибор магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой. Рядом с ним еще знак, указывающий положение прибора, в котором он должен находиться при измерениях. Если не придерживаться этого указания, то прибор будет давать неточные показания.

Эти и некоторые другие условные обозначения на шкалах приборов изображены на рис. 105. Например, прибор М24, внешний вид которого показан в верхней части рис. 104, является микроамперметром (обозначение μА) и рассчитан для измерения постоянных токов не более чем до 100 мкА, т. е. до 0,1 мА. Сопротивление его рамки, судя по надписи на шкале, 720 Ом. Подобный микроамперметр я и буду рекомендовать для твоего комбинированного измерительного прибора. Если такой микроамперметр использовался ранее как миллиамперметр, то на его шкале может быть надпись mA, как амперметр — буква А, как вольтметр — буква V.

Еще раз подчеркиваю: независимо от внешнего вида и названия механизмы и принцип работы магнитоэлектрических приборов совершенно одинаковы и отличаются они один от другого в основном только внешним видом и предельными токами, при которых их стрелки отклоняются на всю шкалу.

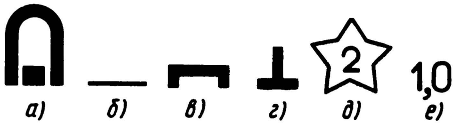


Рис. 105. Условные обозначения на шкалах измерительных приборов:

а — магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой; *б* — прибор предназначен для измерения постоянного тока; *в* — рабочее положение прибора горизонтальное; *г* — рабочее положение прибора вертикальное; *д* — между корпусом и магнитоэлектрической системой прибора напряжение не должно превышать 2 кВ; *е* — класс точности прибора (в процентах)

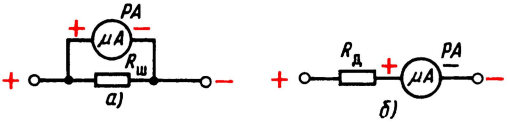


Рис. 106. Подключение шунта и добавочного резистора к электроизмерительному прибору PA

Если магнитоэлектрический прибор используют для измерения сравнительно больших токов, например в амперметре, параллельно рамке присоединяют резистор, называемый шунтом (рис. 106, *а*). Сопротивление шунта $R_ш$ подбирают таким, чтобы через него шел основной ток, а через измерительный прибор PA — только часть измеряемого тока. Если из такого прибора удалить шунт, то предельный ток, который можно будет им измерять, уменьшится. В том случае, когда магнитоэлектрический прибор используют в вольтметре, последовательно с его катушкой включают добавочный резистор $R_д$ (рис. 106, *б*). Этот резистор ограничивает ток, проходящий через прибор, повышая общее сопротивление прибора.

Шунты и добавочные резисторы могут находиться как внутри корпусов приборов (внутренние), так и снаружи (внешние). Чтобы амперметр, миллиамперметр или вольтметр превратить в микроамперметр, иногда достаточно изъять из него шунт или дополнительный резистор. Именно такой, бывший в употреблении, прибор магнитоэлектрической системы может оказаться в твоем распоряжении. И если его основные параметры $I_и$ и $R_и$ неизвестны, то измерить их придется самому. Для этого потребуются: гальванический элемент 332 или 343, образцовый (т. е. как бы эталонный) миллиамперметр на ток 1...2 мА, переменный резистор сопротивлением 5...10 кОм и постоянный резистор, сопротивление которого надо рассчитать. Постоянный резистор (назовем его добавочным) нужен для ограничения тока в измерительной цепи, в которую будешь включать неизвестный прибор. Если такого резистора не будет, а ток в измерительной цепи окажется значительно больше тока $I_и$ проверяемого прибора, то его стрелка, резко отклонившись за пределы шкалы, может погнуться. Если ток очень велик, то может даже сгореть обмотка рамки.

Сопротивление добавочного резистора рассчитай, пользуясь законом Ома. Вначале, для страховки, полагай, что $I_и$ проверяемого прибора не превышает 50 мкА. Тогда при напряжении источника питания 1,5 В (один элемент) сопротивление этого резистора должно быть

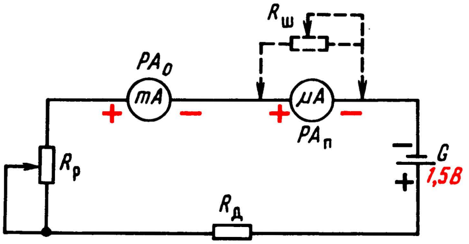


Рис. 107. Схема измерения параметров $I_и$ и $R_и$ стрелочного прибора

около 30 кОм ($R = U/I_и = 1{,}5$ В$/0{,}05$ мА $= 30$ кОм).

Проверяемый измерительный прибор $PA_п$, образцовый миллиамперметр PA_0, переменный регулировочный резистор $R_р$ и добавочный резистор $R_д$ соедини последовательно, как показано на рис. 107. Проверь, нет ли ошибок в полярности соединения зажимов приборов. Движок резистора $R_р$ поставь в положение наибольшего сопротивления (по схеме — в крайнее нижнее) и только после этого включай в цепь элемент G — стрелки обоих приборов должны отклониться на какой-то угол. Теперь постепенно уменьшай введенное в цепь сопротивление переменного резистора. При этом стрелки приборов будут все более удаляться от нулевых отметок их шкал. Заменяя добавочный резистор $R_д$ резисторами меньшего номинала и изменяя сопротивление переменного резистора, добейся в цепи такого тока, при котором стрелка проверяемого прибора установится точно против конечной отметки шкалы. Значение этого тока, отсчитанное по шкале образцового миллиамперметра, и будет параметром $I_и$, т. е. током полного отклонения стрелки неизвестного прибора. Запомни его значение.

Теперь измерь сопротивление рамки. Сначала, как и при измерении параметра $I_и$, переменным резистором $R_р$ установи стрелку проверяемого прибора на конечную отметку шкалы и запиши показание образцового миллиамперметра. После этого подключи параллельно проверяемому прибору переменный резистор сопротивлением 1,5...3 кОм (на рис. 107 он показан штриховыми линиями и обозначен $R_ш$). Подбери такое его сопротивление, чтобы ток через проверяемый прибор $PA_п$ уменьшился вдвое. При этом общее сопротивление цепи уменьшится, а ток в ней увеличится. Резистором $R_р$ установи в цепи (по миллиамперметру) начальный ток и точнее подбери сопротивление резистора $R_ш$, добиваясь установки стрелки микроамперметра точно против отметки половины шкалы. Параметр $R_и$ твоего микроамперметра будет равен сопротивлению введенной части резистора $R_ш$. Измерить это сопротивление можно омметром.

Теперь поговорим о том, как магнитоэлектрический прибор приспособить для измерения разных значений токов, напряжений, сопротивлений.

МИЛЛИАМПЕРМЕТР

На практике тебе придется измерять постоянные токи в основном от нескольких долей миллиамперметра до 100 мА. Например, коллекторные токи транзисторов каскадов усиления радиочастоты и каскадов предварительного усиления могут быть примерно от 0,5 до 3...5 мА, а токи усилителей мощности достигать 60...80 мА. Значит, чтобы измерять сравнительно небольшие токи, нужен прибор на ток $I_и$ не более 1 мА. А расширить пределы измеряемых токов можно путем применения шунта.

Сопротивление шунта можно рассчитать по такой формуле:

$$R_ш = I_и R_и/(I_{и\,max} - I_и),$$

где $I_{и\,max}$ — требуемое наибольшее значение измеряемого тока, мА. Если, например, $I_и = 1$ мА, $R_и = 100$ Ом, а необходимый ток $I_{и\,max} = 100$ мА, то $R_ш$ должно быть: $R_ш = I_и R_и (I_{и\,max} - I_и) = 1 \cdot 100/(100 - 1) \approx 1$ Ом.

Таким миллиамперметром можно измерять токи: без шунта — до 1 мА, с шунтом — до 100 мА. При измерении наибольшего тока (до 100 мА) через прибор будет течь ток, не превышающий 1 мА, т. е. его сотая часть, а 99 мА — через шунт. Лучше, однако, иметь еще один предел измерений — до 10 мА. Это для того, чтобы более точно, чем по шкале 100 мА, можно было отсчитывать токи в несколько миллиампер, например коллекторные токи транзисторов выходных каскадов простых усилителей. В этом случае измеритель токов можно построить по схеме, показанной на рис. 108, *а*. Здесь используется универсальный шунт, составленный из трех проволочных резисторов R1 — R3, позволяющий увеличить пределы измерений миллиамперметра в 10 и 100 раз. И если ток $I_и = 1$ мА, то, применив к нему такой шунт, суммарное сопротивление которого должно быть значительно больше $R_и$, прибором можно будет измерять постоянные токи трех пределов: 0...1, 0...10 и 0...100 мА. Зажим «— Общ.» — общий для всех пределов измерений. Чтобы узнать измеряемый ток, надо ток, зафиксированный стрелкой прибора, умножить на численное значение коэффициента возле соответствующего зажима. А поскольку ток $I_и$ прибора известен, то возле зажимов вместо множителей «×1», «×10», «×100» можно написать предельно измеряемые токи. Для нашего

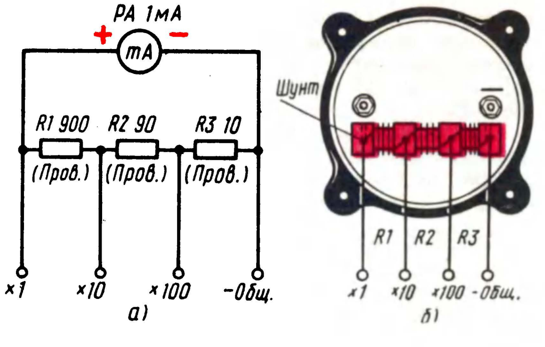


Рис. 108. Миллиамперметр с универсальным шунтом

примера это могут быть надписи: «1 мА», «10 мА», «100 мА». Более подробно о расчете универсального шунта я расскажу еще в этой беседе.

Шунты изготовляют обычно из провода, обладающего высоким сопротивлением,— манганина, никелина или константана, наматывая их на каркасы из изоляционных материалов. Каркасом шунта миллиамперметра может быть гетинаксовая планка длиной чуть больше расстояния между зажимами прибора (рис. 108, *б*). Выводами шунта и отводами его секций служат отрезки медного провода, укрепленные в отверстиях в планке. От них идут проводники к входным зажимам (или гнездам) прибора.

Очень важно обеспечить надежность контактов в самом шунте. Если в нем появятся плохое соединение или обрыв, то весь измеряемый ток пойдет через прибор и он может испортиться.

И еще одно обязательное требование: в измеряемую цепь должен включаться шунт, к которому подключен миллиамперметр, а не наоборот. Иначе из-за нарушения контакта между зажимами прибора и шунтом через прибор также пойдет весь измеряемый ток и он может выйти из строя.

ВОЛЬТМЕТР

О пригодности вольтметра для измерения напряжений в тех или иных цепях радиотехнического устройства судят по его внутреннему или, что то же самое, входному сопротивлению, которое складывается из сопротивления рамки стрелочного прибора и сопротивления добавочного резистора. Так, если $R_и$ прибора 800 Ом, а сопротивление добавочного резистора на пределе измерений, скажем 3 В, равно 2,2 кОм, то входное сопротивление вольтметра на этом пределе измерений будет 3 кОм. Для другого предела измерений данные добавочного резистора будут другими, а значит, изменится и входное сопротивление вольтметра.

Чаще, однако, вольтметр оценивают его относительным входным сопротивлением, характеризующим отношение входного сопротивления прибора к 1 В измеряемого напряжения, например 3 кОм/В. Это удобнее: входное сопротивление вольтметра на разных пределах измерений разное, а относительное входное сопротивление постоянное. Чем меньше ток измерительного прибора $I_и$, используемого в вольтметре, тем больше будет относительное входное сопротивление вольтметра, тем точнее производимые им измерения.

Для многих твоих измерений годится вольтметр с относительным входным сопротивлением не менее 1 кОм/В. Для более же точных измерений напряжений в цепях транзисторов нужен более высокоомный вольтметр. В транзисторных конструкциях приходится измерять напряжение от долей вольта до нескольких десятков вольт. Поэтому однопредельный вольтметр неудобен. Например, вольтметром со шкалой на 100 В нельзя точно измерить даже напряжение 3...5 В, так как отклонение стрелки получится малозаметным. Вольтметром же со шкалой на 10 В нельзя измерять более высокие напряжения. Поэтому тебе нужен вольтметр, имеющий хотя бы три предела измерений.

Схема такого вольтметра постоянного тока показана на рис. 109. Наличие трех добавочных резисторов R1, R2 и R3 свидетельствует о том, что вольтметр имеет три предела измерений. В данном случае первый предел 0...1, второй 0...10 и третий 0...100 В. Сопротивление любого из добавочных резисторов можно рассчитать по формуле, вытекающей из закона Ома: $R_д = U_п/I_и — R_и$, здесь $U_п$ — наибольшее напряжение данного предела измерений. Так, для прибора на ток $I_и = 500$ мкА (0,005 А) и рамки сопротивлением $R_и = 500$ Ом сопротивление добавочного резистора R1 для предела 0...1 В должно быть 1,5 кОм, резистора R2 для предела 0...10 В — 19,5 кОм, резистора R3 для предела 0...100 В — 195,5 кОм. Относительное входное сопротивление такого вольтметра будет 2 кОм/В. Обычно в вольтметр монтируют добавочные резисторы с номиналами, близкими

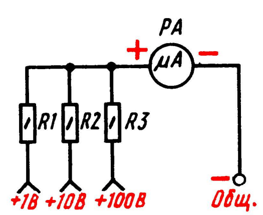


Рис. 109. Вольтметр постоянного тока на три предела измерений

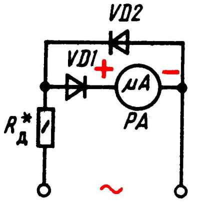


Рис. 110. Однопредельный вольтметр переменного тока

к рассчитанным. Окончательно же «подгонку» их сопротивлений производят при градуировке вольтметра путем подключения к ним параллельно или последовательно других резисторов. Так делай и ты.

Но тебе надо измерять не только постоянные, но и переменные напряжения, например напряжение сети, напряжения на вторичных обмотках трансформаторов. Чтобы для этой цели приспособить вольтметр постоянного тока, его надо дополнить выпрямителем, преобразующим переменное напряжение в постоянное (точнее, пульсирующее), которое и будет показывать прибор.

Возможная схема такого прибора показана на рис. 110. Работает прибор так. В те моменты, когда на левом (по схеме) зажиме прибора положительные полуволны переменного напряжения, ток идет через диод VD1, включенный для него в прямом направлении, и далее через микроамперметр PA к правому зажиму. В это время через диод VD2 ток идти не может, так как для тока этого направления диод закрыт. Во время положительных полупериодов на правом зажиме диод VD1 закрывается и положительные полуволны переменного напряжения замыкаются через диод VD2, минуя микроамперметр.

Добавочный резистор $R_{\text{д}}$, как и аналогичный резистор в вольтметре постоянного тока, гасит избыточное напряжение. Рассчитывают его так же, как для постоянных напряжений, но полученный результат делят на 2,5...3, если выпрямитель прибора однополупериодный, или на 1,25...1,5, если выпрямитель прибора двухполупериодный. В нашем примере выпрямитель прибора однополупериодный, поэтому результат надо делить на 2,5...3. Более точно сопротивление этого резистора подбирают опытным путем во время градуировки шкалы прибора.

Таким вольтметром можно измерять и напряжение звуковой частоты до нескольких килогерц.

ОММЕТР

Сущность действия омметра заключается в том, что при включении в цепь, составленную из электроизмерительного прибора и источника постоянного тока, резисторов различных сопротивлений или других деталей, обладающих активным сопротивлением, значение тока в этой цепи изменится. Соответственно изменится и угол отклонения стрелки прибора.

Чтобы лучше разобраться в принципе действия омметра, проведи такой опыт. Составь из любого миллиамперметра, батареи 3336 и добавочного резистора замкнутую электрическую цепь, как показано на рис. 111, *а*. Сопротивление добавочного резистора подбери так, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу (рассчитать сопротивление можно по той же формуле, по которой мы рассчитывали сопротивление добавочного резистора к вольтметру). Подобрав добавочный резистор, разорви цепь — образовавшиеся при этом концы проводников будут входом получившегося простейшего омметра (рис. 111, *б*). Подключи к щупам R_x (на схеме они обозначены стрелками) резистор небольшого сопротивления, например 10 Ом. Полное сопротивление цепи теперь стало больше на сопротивление этого резистора. Соответственно и ток в цепи уменьшился — стрелка прибора не отклоняется до конца шкалы. Это положение стрелки можно пометить на шкале черточкой, а около нее написать число 10. Потом к выводам R_x подключи резистор сопротивлением 15 Ом. Стрелка прибора отклонится еще меньше. И это положение стрелки на шкале можно отметить соответствующим числом. Далее присоединяй поочеред-

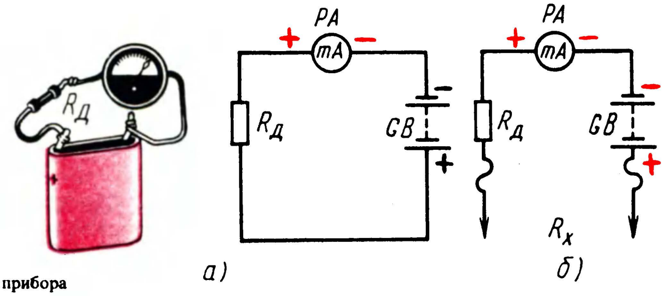


Рис. 111. Простой омметр:
а — подбор добавочного резистора; *б* — схема прибора

но резисторы сопротивлением в несколько десятков, сотен Ом, килоом и отмечай получающиеся в каждом случае отклонения стрелки. Если теперь к выводам отградуированного таким способом простейшего омметра присоединить резистор неизвестного сопротивления, стрелка прибора укажет деление на шкале, соответствующее сопротивлению этого резистора.

Когда ты будешь замыкать выводы R_x накоротко, стрелка прибора должна устанавливаться на самом правом делении шкалы. Это соответствует «нулю» омметра. Нуль же бывшего миллиамперметра в омметре будет соответствовать очень большому сопротивлению, обозначаемому знаком ∞ — бесконечность. Но показания такого омметра будут правильными до тех пор, пока не уменьшится напряжение батареи вследствие ее разрядки. При уменьшении напряжения батареи стрелка прибора уже не будет устанавливаться на нуль и омметр будет давать неправильные показания. Этот недостаток легко устраним в омметре, построенном по схеме на рис. 112. Здесь последовательно с прибором и добавочным резистором R1 включен переменный резистор R2, который служит для установки стрелки омметра на нуль. Пока батарея свежая, в цепь вводится бóльшая часть сопротивления резистора R2. По мере разрядки батареи сопротивление этого резистора уменьшают. Таким образом, переменный резистор, являющийся составной частью добавочного резистора, позволяет производить регулировку в цепи омметра и устанавливать его стрелку на нуль. Его обычно называют резистором установки омметра на нуль.

Сопротивление резистора установки омметра на нуль должно составлять 1/10—1/8 часть общего сопротивления добавочных резисторов. Если, например, общее добавочное сопротивление по расчету должно быть 4,7 кОм, то сопротивление переменного резистора R2 может быть 470...620 Ом, а резистора R1 — 3,9...4,3 кОм. При этом надобность в точной подгонке сопротивления основного добавочного резистора отпадает.

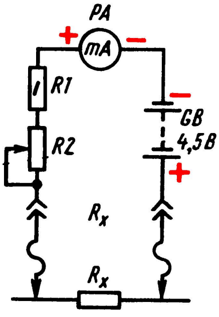


Рис. 112. Омметр с установкой «нуля»

Пользоваться омметром несложно. Всякий раз перед измерениями стрелку омметра надо устанавливать на нуль, замкнув накоротко щупы. Затем, касаясь щупами омметра выводов резисторов, выводов обмоток трансформаторов или других деталей, определяют их сопротивления по градуированной шкале. С течением времени стрелка прибора не будет устанавливаться на нуль. Это укажет на то, что батарея разрядилась и ее нужно заменить новой.

Омметром можно пользоваться как универсальным пробником, например, проверить, нет ли обрывов в контурных катушках, обмотках трансформатора, выяснить, не замыкаются ли катушки или обмотки трансформатора между собой. С помощью омметра легко найти выводы обмоток трансформатора и по сопротивлению судить об их назначении. Омметром можно проверить, не оборвана ли нить накала лампы, не соединяются ли между собой электроды транзистора, оценивать качество диодов. С помощью омметра можно также определять замыкания в монтаже или между обкладками конденсатора, надежность контактных соединений и многое другое.

Запомни, как ведет себя омметр при испытании конденсаторов. Если щупами прикоснуться к выводам конденсатора, стрелка прибора отклонится и сейчас же возвратится в положение очень большого сопротивления. Этот «бросок» стрелки, получающийся за счет тока зарядки конденсатора, будет тем большим, чем больше емкость конденсатора. При испытании конденсаторов малой емкости броски тока так малы, что они незаметны, так как зарядный ток таких конденсаторов ничтожно мал. Если при испытании конденсатора стрелка омметра отклоняется до нуля, значит, конденсатор пробит; если же омметр после отклонения стрелки от тока зарядки покажет некоторое сопротивление, значит, конденсатор имеет утечку.

МИЛЛИАМПЕРВОЛЬТОММЕТР

Ты, конечно, не мог не заметить, что в миллиамперметре, вольтметре и омметре, о принципе работы которых я здесь рассказал, использовались однотипные стрелочные приборы магнитоэлектрической системы. Можно ли детали каждого из них смонтировать на самостоятельных панелях и как приставки подключать их по мере необходимости к одному и тому же микроамперметру? Да, можно, но это не всегда удобно. Целесообразнее объединить все это в одном комбинированном электроизмери-

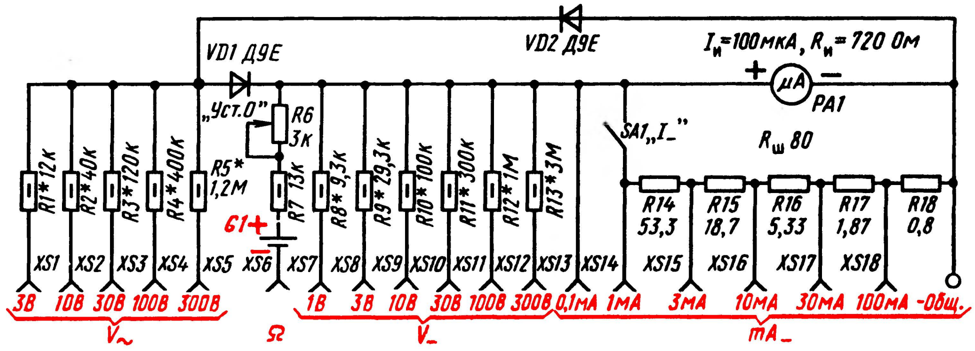


Рис. 113. Схема миллиампервольтомметра

тельном приборе. Получится миллиампервольтомметр — прибор для измерения токов, напряжения и сопротивлений.

Принципиальная схема возможного варианта такого измерительного прибора изображена на рис. 113. Он объединяет в себе шестипредельный миллиамперметр постоянного тока (0,1, 1, 3, 10, 30 и 100 мА), шестипредельный вольметр постоянного тока (1, 3, 10, 30, 100 и 300 В), однопредельный омметр и пятипредельный вольтметр переменного тока (3, 10, 30, 100 и 300 В). Зажим «— Общ.», к которому подключают один из измерительных щупов, является общим для всех видов измерений. Прибор переключают на разные виды и пределы измерений перестановкой вилки второго щупа: при измерении постоянного тока — в гнезда XS13—XS18, при измерении постоянных напряжений — в гнезда XS7—XS12, при измерении сопротивлений — в гнездо XS6, при измерении переменных напряжений — в гнезда XS1—XS5. Пользуясь прибором как миллиамперметром постоянного тока, надо на всех пределах, кроме 0,1 мА, замкнуть контакты выключателя SA1, чтобы к шунту $R_ш$ подключить микроамперметр PA1.

Указанные на схеме сопротивления резисторов и пределы измерений соответствуют микроамперметру на ток $I_и = 100$ мкА с рамкой сопротивлением $R_и = 720$ Ом. Для микроамперметров с иными параметрами $I_и$ и $R_и$ сопротивления резисторов для тех же пределов измерений придется перерассчитать.

Часть прибора, относящаяся только к миллиамперметру постоянного тока (mA_), состоит из микроамперметра PA1, выключателя SA1, резисторов R14—R18, образующих шунт $R_ш$, гнезд XS13—XS18 и зажим «— Общ.». На любом пределе измерений через микроамперметр течет ток, не превышающий максимальный.

Применительно к микроамперметру, использованному в описываемом комбинированном измерительном приборе, я расскажу о расчете шунта $R_ш$ и составляющих его резисторов R14—R18. Для этого первый, наименьший предел измерений с шунтом (1 мА) обозначим $I_{п1}$, второй (3 мА) — $I_{п2}$, третий (10 мА) — $I_{п3}$, четвертый (30 мА) — $I_{п4}$, пятый, наибольший (100 мА) — $I_{п5}$.

Сначала надо определить общее сопротивление шунта первого предела измерений $I_{п1}$ по такой формуле:

$$R_ш = R_и/(I_{п1}/I_и - 1) = 720/(1/0{,}1 - 1) = 80 \text{ Ом}.$$

После этого можно приступить к расчету сопротивлений резисторов, составляющих шунт, начиная с резистора R18 наибольшего предела измерений $I_{п5}$ (до 100 мА), в таком порядке:

$$R18 = (I_и/I_{п5})(R_ш + R_и) = (0{,}1/100)(720 + 80) = 0{,}8 \text{ Ом};$$

$$R17 = (I_и/I_{п4})(R_ш + R_и) - R18 = (0{,}1/30)800 - 0{,}8 = 1{,}87 \text{ Ом};$$

$$R16 = (I_и/I_{п3})(R_ш + R_и) - R17 - R18 = (0{,}1/10)800 - 1{,}87 - 0{,}8 = 5{,}33 \text{ Ом};$$

$$R15 = (I_и/I_{п2})(R_ш + R_и) - R16 - R17 - R18 = (0{,}1/3)800 - 5{,}33 - 1{,}87 - 0{,}8 = 18{,}7 \text{ Ом};$$

$$R14 = (I_и/I_{п1})(R_ш + R_и) - R15 - R16 - R17 - R18 = (0{,}1/1)800 - 18{,}7 - 5{,}33 - 1{,}87 - 0{,}8 = 53{,}3 \text{ Ом};$$

В такой же последовательности можно рассчитать шунт и для микроамперметра с другими параметрами $I_и$ и $R_и$, подставляя их значения в эти же формулы.

Теперь о вольтметре постоянного тока (V_). В эту часть прибора входит тот же микроамперметр PA1, добавочные резисторы R8—R13, гнезда XS7—XS12 и зажим «— Общ.» (контакты выключателя SA1 разомкнуты, чтобы микроамперметр отключить от шунта). Каждый предел имеет самостоятельный добавочный резистор: R8 — для предела «1 В», R9 — для предела «3 В», R10 — для предела «10 В», R11 — для предела «30 В» и т. д. С расчетом добавочных резисторов ты уже знаком.

Следующая часть прибора — однопредельный омметр (Ω). В него входят: микроамперметр PA1, резисторы R6 и R7, элемент G1, гнездо XS6 и зажим « — Общ.». Соедини мысленно гнездо XS6 с зажимом « — Общ.». Образуется замкнутая цепь (такая же, как на рис. 112), ток в которой зависит от напряжения источника питания G1 омметра, суммарного сопротивления резисторов R6, R7 и сопротивления рамки микроамперметра. Перед измерением сопротивления резистора или участка цепи измерительные щупы замыкают и резистором R6 «Уст. 0» стрелку прибора устанавливают точно на конечное деление шкалы, т. е. на нуль омметра. Если стрелка прибора не доходит до нуля омметра, значит, необходимо заменить его источник питания. Суммарное сопротивление резисторов R6 и R7 выбрано таким, чтобы при напряжении источника питания омметра 1,2...1,5 В в цепи можно было установить ток, равный току $I_и$ микроамперметра.

Таким омметром можно измерять сопротивление примерно от 100...150 Ом до 60...80 кОм.

В вольтметр переменного тока ($V_{\sim}$) входят: микроамперметр, диоды VD1 и VD2, добавочные резисторы R1—R5, гнезда XS1—XS5 и зажим « — Общ.». Рассмотрим для примера цепь предела измерений 3 В. При подключении измерительных щупов (гнездо XS1, зажим « — Общ.») к источнику переменного тока напряжением до 3 В ток идет через добавочный резистор R1, выпрямляется диодом VD1 и заставляет стрелку микроамперметра отклониться на угол, соответствующий значению выпрямленного тока. Так работает прибор и на других пределах измерений, разница лишь в сопротивлениях добавочных резисторов. Роль диода VD2 вспомогательная: пропускать через себя отрицательную полуволну напряжения, минуя микроамперметр. Его, в принципе, может и не быть, но тогда при значительных измеряемых напряжениях отрицательная полуволна может пробить диод VD1 и вольтметр переменного тока выйдет из строя.

Для микроамперметра с другими параметрами $I_и$ и $R_и$ добавочные резисторы рассчитывают так же, как резисторы для измерений напряжений постоянного тока, а затем полученные результаты раздели на коэффициент 2,5.

Коротко о выборе пределов измерений. Наибольшая погрешность измерений токов и напряжений получается при отсчете измеряемых величин на первой трети части шкалы. Поэтому, выбирая пределы измерений, всегда стремись к тому, чтобы первый (наименьший) из них захватывал первую треть шкалы второго предела, второй предел — первую треть шкалы третьего предела и т. д. В этом отношении удобными для измерений можно считать пределы: 0...1, 0...3, 0...10, 0...30, 0...100. Именно эти пределы измерений токов и напряжений выбраны для рекомендуемого тебе комбинированного прибора.

Но это не значит, что только такими должны быть пределы измерений. С учетом габаритных размеров и разметки делений шкалы микроамперметра можно выбрать и другие пределы, например 0...1, 0...5, 0...25, 0...100. Но отсчет измеряемых величин надо стараться вести за пределами первой трети шкалы.

Возможную конструкцию комбинированного измерительного прибора, в котором используется микроамперметр М24, ты видишь на рис. 114. Роль входных контактов выполняют гнезда трех семиштырьковых ламповых панелек и один зажим. Гнезда одной панельки относятся только к миллиамперметру, гнезда второй панельки — только к вольтметру постоянного тока, третьей — к омметру и вольтметру переменного тока. Зажим « — Общ.» является общим входным контактом для всех видов и пределов измерений.

Микроамперметр, ламповые панельки, переменный резистор R6 (типа СП-I) и выключатель SA1 (тумблер ТВ2-1) укрепи на гетинаксовой панели размерами 200 × 140 мм, а элемент G1 (332) — на боковой фанерной (или дощатой) стенке прибора. Резисторы шунта и добавочные резисторы вольтметров монтируй непосредственно на выводных контактах ламповых панелек. Общими монтажными проводниками резисторов вольтметров могут быть отрезки голого медного провода толщиной 1...1,5 мм, припаянные к центральным контактам панелек.

В качестве добавочных резисторов используй резисторы МЛТ-0,5 или МЛТ-1,0. Резисторы R14—R18 шунта должны быть проволочными. Используй для них высокоомный манганиновый или константановый провод диаметром 0,08...0,1 мм в шелковой или бумажной изоляции. Отрезки провода нужной длины наматывай на корпусы резисторов МЛТ-0,5 или МЛТ-1,0 с номиналами не менее 20...50 кОм и припаивай их концы к проволочным выводам резисторов. Длину отрезка провода необходимого сопротивления можно рассчитать, пользуясь справочной литературой, или измерить омметром. Отрезок константанового провода ПЭК, например, диаметром 0,1 мм и длиной 1 м обладает сопротивлением около 60 Ом. Следовательно, для всего шунта (80 Ом) потребуется около 1,5 м такого провода.

Сопротивления резисторов шунта, как бы точно они не были рассчитаны, во время градуировки прибора обязательно придется несколько уменьшать или, наоборот, увеличивать, т. е. как говорят, подогнать под параметры микроамперметра. И чтобы не наращивать провод в случае его недостаточного сопротивления, отрезки провода для резисторов шунта

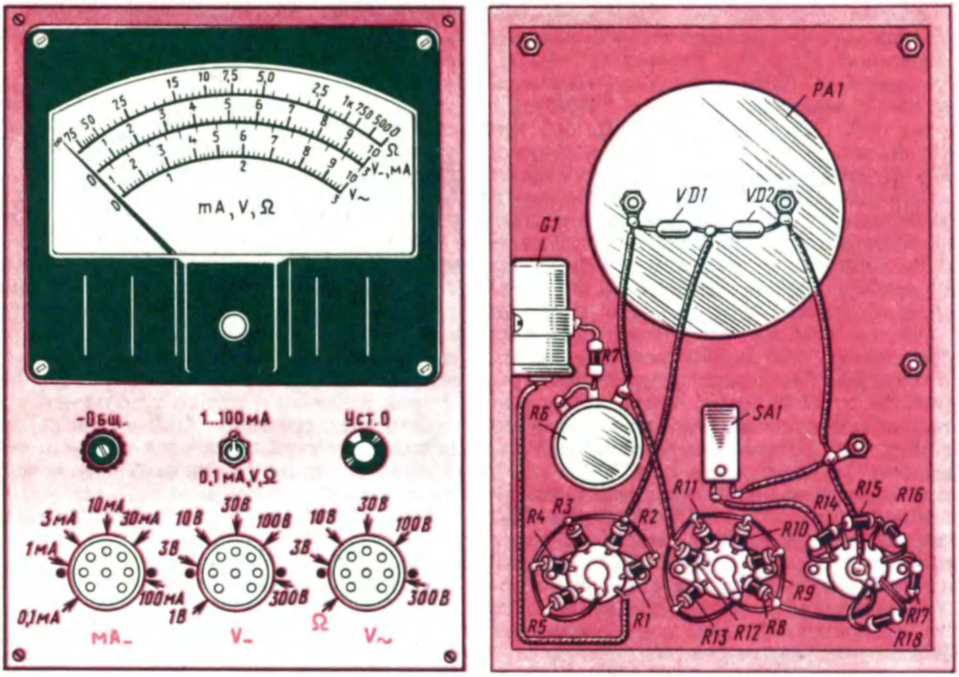


Рис. 114. Конструкция миллиамперовольтомметра

делай на 5...10% длиннее расчетных. Конструкция измерительного щупа может быть такой, как на рис. 115. Это медный или латунный стержень (проволока) диаметром 3...4 и длиной 120...150 мм, один конец которого заострен. К другому его концу припаян гибкий (многожильный) изолированный проводник, оканчивающийся однополюсным штепселем, вставляемым в гнезда ламповых панелек, или вилкообразным металлическим наконечником под зажим «—Общ.». На стержень надета изолирующая (резиновая, поливинилхлоридная) трубка. Она закрывает весь стержень щупа, включая место спайки его с гибким проводником. Из трубки выступает только заостренный кончик стержня, которым можно прикасаться к точкам измеряемых цепей. Если не окажется подходящей изоляционной трубки, то закатай стержень щупа в полоску бумаги, предварительно промазав ее клеем БФ-2 или каким-либо лаком, и хорошенько просуши. Толщина бумажного слоя должна составлять 0,5...0,8 мм. Сверху бумажную изоляцию покрой тем же клеем или лаком или покрась масляной краской.

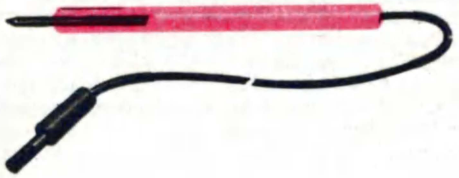


Рис. 115. Устройство измерительного щупа

Градуировка миллиамперметра и вольтметра постоянного тока сводится к подгонке секций универсального шунта и добавочных резисторов под максимальный ток пределов измерения, а вольтметра переменного тока и омметра, кроме того,— к разметке их шкал.

Для подгонки шунта миллиамперметра потребуются: образцовый многопредельный миллиамперметр, свежая батарея 3336 и два переменных резистора — проволочный сопротивлением 200...500 Ом и мастичный (СП, СПО) сопротивлением 5...10 кОм. Первый из переменных резисторов будешь использовать для регулировки тока при подгонке резисторов R14 и R15 шунта.

Вначале подгоняй резистор R14. Для этого соедини последовательно (рис. 116, *а*) образцовый миллиамперметр PA_0, батарею GB и регулировочный резистор $R_р$. Установи движок

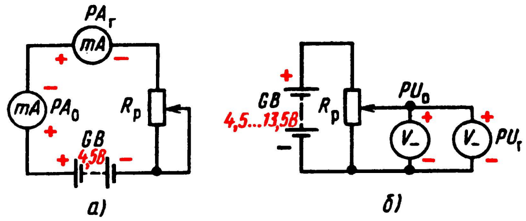


Рис. 116. Схема градуировки прибора

резистора $R_р$ в положение максимального сопротивления. Подключи градуируемый прибор $PA_г$, установленный на предел измерений до 1 мА (измерительные щупы подключены к зажиму «—Общ.» и гнезду XS14, контакты выключателя SA1 замкнуты). Затем, постепенно уменьшая сопротивление регулировочного резистора, по образцовому миллиамперметру установи ток в измерительной цепи, равный точно 1 мА. Сравни показания обоих приборов. Поскольку сопротивление провода резистора R14 немного больше расчетного, стрелка градуируемого прибора заходит за конечное деление шкалы. Твоя задача, понемногу уменьшая длину провода резистора, добиться, чтобы стрелка градуируемого прибора установилась точно против конечной отметки шкалы.

После этого переходи к подгонке резистора R15 на предел измерения до 3 мА, затем резистора R16 на предел измерения до 10 мА и т. д. Подбирая сопротивление очередного резистора, уже подогнанные резисторы шунта не трогай — можешь сбить градуировку соответствующих им пределов измерений.

Шкалу вольтметра постоянных напряжений первых трех пределов измерения (1, 3 и 10 В) градуируй по схеме, показанной на рис. 116, *б*. Параллельно батарее GB, составленной в зависимости от диапазона из одной или трех батарей 3336 (последовательное соединение), включи потенциометром переменный резистор $R_р$ сопротивлением 1,5...2,5 кОм, а между его нижним (по схеме) выводом и движком включи параллельно соединенные образцовый PU_0 и градуируемый $PU_г$ вольтметры. Предварительно движок резистора поставь в крайнее нижнее (по схеме) положение, соответствующее нулевому напряжению, подаваемому от батареи GB к измерительным приборам, а градуируемый вольтметр включи на предел измерения до 1 В. Постепенно перемещая движок резистора вверх (по схеме), подай на вольтметр напряжение, равное точно 1 В. Сравни показания приборов. Если стрелка градуируемого вольтметра не доходит до конечной отметки шкалы, значит, сопротивление резистора R8 велико, если, наоборот, уходит за нее, значит, его сопротивление мало. Надо подобрать резистор такого сопротивления, чтобы при напряжении 1 В, фиксируемом образцовым вольтметром, стрелка градуируемого прибора устанавливалась против конечной отметки шкалы. Так же, но при напряжениях 3 и 10 В, подгоняй добавочные резисторы R9 и R10 следующих двух пределов измерений.

По такой же схеме градуируй шкалы остальных трех пределов измерений, но с использованием соответствующих им источников постоянных напряжений. При этом вовсе не обязательно подавать на приборы наибольшие напряжения пределов измерения. Подгонять сопротивления резисторов можно при каких-то средних напряжениях (например, резистора R11 — при напряжении 15...20 В), а затем сверить показания вольтметра при более низких и более высоких напряжениях. Источником напряжения при градуировке шкалы предела до 300 В может быть выпрямитель лампового усилителя или приемника. При этом резистор $R_р$ должен быть заменен другим резистором сопротивлением 470...510 кОм.

Среди постоянных резисторов, выпускаемых промышленностью, обычно нет точно таких, номинальные сопротивления которых соответствовали бы расчетным сопротивлениям добавочных резисторов. Поэтому резисторы требуемого сопротивления приходится подбирать из числа резисторов близкого ему номинала с допуском отклонения не больше ±5%. Например, для предела измерений до 1 В нужен добавочный резистор R8 сопротивлением 9,3 кОм. По существующему ГОСТу ближайший номинал резисторов, выпускаемых промышленностью, 9,1 кОм. При допуске ±5% фактическое сопротивление резисторов этого номинала может быть примерно от 8,6 до 9,6 кОм. Среди них, следовательно, можно подобрать резистор сопротивлением 9,3 кОм.

Добавочный резистор нужного сопротивления можно также составить из двух-трех резисторов. Или поступить так: включить в цепь вольтметра резистор бóльшего, чем требуется, сопротивления, а затем подключать параллельно ему резисторы еще бóльших сопротивлений, добиваясь отклонения стрелки градуируемого прибора на всю шкалу.

Шкалы миллиамперметра и вольтметра постоянного тока равномерные. Поэтому наносить на шкалу микроамперметра какие-либо деления между нулевой и конечной отметками не следует. Оцифрованная шкала микроамперметра используется при измерении токов и напряжений всех пределов измерений. А вот шкала вольтметра переменного тока неравномерная. Поэтому кроме подгонки добавочного резистора под наибольшее напряжение каждого предела измерений приходится размечать все промежуточные деления шкалы.

Схема измерительной цепи во время градуировки вольтметра переменного тока остается такой же, как при градуировке вольтметра постоянного тока (рис. 116, *б*). Только на переменный резистор $R_{\text{р}}$ надо подавать переменное напряжение и образцовый прибор должен быть вольтметром переменного тока. Источником переменного напряжения может быть вторичная обмотка трансформатора. Сначала, используя трансформатор, понижающий напряжение сети до 12...15 В, включи градуируемый вольтметр на предел измерений до 3 В и установи резистором $R_{\text{р}}$ по шкале образцового прибора напряжение 3 В. Затем, подбирая сопротивление резистора $R_{\text{р}}$, добейся отклонения стрелки микроамперметра на всю шкалу. После этого устанавливай регулировочным резистором напряжения 2,9; 2,8; 2,7 В и т. д. через каждые 0,1 В и записывай показания вольтметра. Позже по этим записям ты разметишь шкалу вольтметра переменного напряжения всех пределов измерения.

Для градуировки шкалы на остальных пределах измерений достаточно подобрать добавочные резисторы, которые бы соответствовали отклонению стрелки микроамперметра до конечного деления шкалы. Промежуточные значения измеряемых напряжений следует отсчитывать по шкале первого предела, но в других единицах.

Шкалу омметра можно проградуировать с помощью постоянных резисторов с допуском отклонения от номинала ±5%. Делай это так. Сначала, включив прибор на измерение сопротивлений, замкни накоротко щупы и переменным резистором R6 «Уст. 0» установи стрелку микроамперметра на конечное деление шкалы, соответствующее нулю омметра. Затем, разомкнув щупы, подключай к омметру резисторы с номинальными сопротивлениями 50, 100, 200, 300, 400, 500 Ом, 1 кОм и т. д. примерно до 60...80 кОм, всякий раз замечая точку на шкале, до которой отклоняется стрелка прибора. И в этом случае резисторы нужных сопротивлений можно составлять из нескольких резисторов других номиналов. Так, резистор сопротивлением 400 Ом (такого номинала среди резисторов, выпускаемых нашей промышленностью, нет) можно составить из двух резисторов по 200 Ом, резистор на 50 кОм — из резисторов сопротивлением 20 и 30 кОм, соединив их последовательно. Чем больше сопротивление образцового резистора, тем на меньший угол отклоняется стрелка прибора. По точкам отклонений стрелки, соответствующим разным сопротивлениям резисторов, ты будешь строить шкалу омметра.

Образец шкал комбинированного измерительного прибора применительно к микроамперметру М24 показан на рис. 117. Верхняя шкала является шкалой омметра, средняя — шкалой миллиамперметра и вольтметра постоянного тока, нижняя — шкалой вольтметра переменного тока. Примерно так же должны выглядеть шкалы твоего прибора. Начерти их возможно точнее на листе ватмана и вырежи бумагу по форме шкалы микроамперметра. Затем осторожно извлеки магнитоэлектрическую систему прибора из корпуса и наклей на его металлическую шкалу вычерченную многопредельную шкалу твоего миллиампервольтомметра.

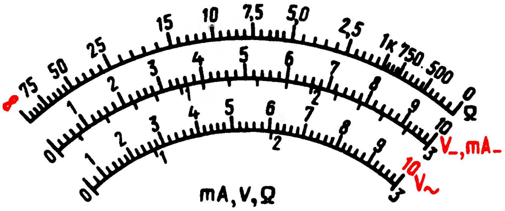


Рис. 117. Шкала миллиампервольтомметра

Можно ли этот прибор упростить? Разумеется, можно. Если ты не собираешься конструировать аппаратуру на электронных лампах, то из прибора можно исключить добавочные резисторы R4, R5 и R12, R13 пределов измерений переменных и постоянных напряжений до 100 и 300 В. Останутся пятипредельный миллиамперметр постоянного тока, трехпредельный вольтметр переменного тока, четырехпредельный вольтметр постоянного тока и однопредельный омметр. В дальнейшем ты можешь все, что сейчас исключишь для упрощения измерительного прибора, восстановить.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Прежде чем вмонтировать транзистор в то или иное радиотехническое устройство, желательно, а если транзистор уже где-то использовался ранее, то совершенно обязательно, проверить его обратный ток коллектора $I_{\text{КБО}}$, статический коэффициент передачи тока $h_{21\text{э}}$ и постоянство коллекторного тока. Эти важнейшие параметры маломощных биполярных транзисторов структур p-n-p и n-p-n ты можешь проверять с помощью прибора, схема и устройство которого показаны на рис. 118. Для него потребуются: миллиамперметр PA1 на ток 1 мА, батарея GB напряжением 4,5 В, переключатель SA1 вида измерений, переключатель SA2 изменения полярности включения

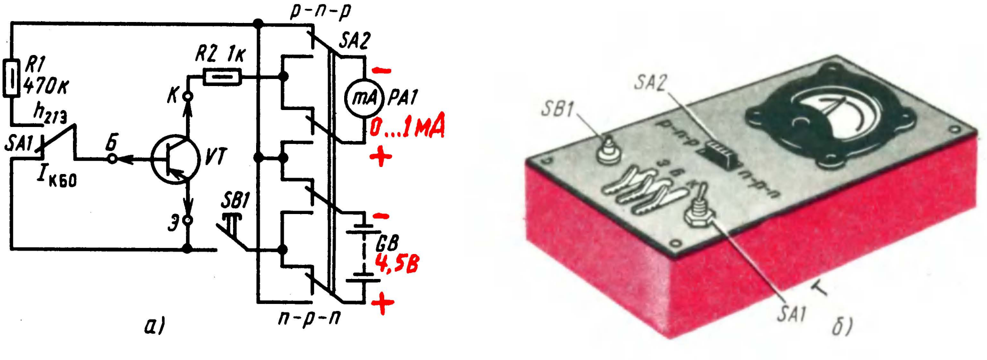


Рис. 118. Схема и конструкция прибора для проверки маломощных биполярных транзисторов

миллиамперметра и батареи, кнопочный выключатель SB1 для включения источника питания, два резистора и три зажима типа «крокодил» для подключения транзисторов к прибору. Для переключателя вида измерений используй двухпозиционный тумблер ТВ2-1, для изменения полярности включения миллиамперметра и батареи питания — движковый переключатель транзисторного приемника «Сокол» (о конструкции и креплении переключателя этого типа я расскажу в следующей беседе). Кнопочный выключатель может быть любым, например подобным звонковому или в виде замыкающихся пластинок. Батарея питания — 3336 либо составленная из трех элементов 332 или 316.

Шкала миллиамперметра должна иметь десять основных делений, соответствующих десятым долям миллиамперметра. При проверке статического коэффициента передачи тока каждое деление шкалы будет оцениваться десятью единицами значения $h_{21э}$.

Детали прибора смонтируй на панели из изоляционного материала, например гетинакса. Размеры панели зависят от размеров деталей.

Прибор действует так. Когда переключатель SA1 вида измерений установлен в положение $I_{КБО}$, база проверяемого транзистора VT оказывается замкнутой на эмиттер. При включении питания нажатием кнопочного выключателя SB1 стрелка миллиамперметра покажет значение обратного тока коллектора $I_{КБО}$. Когда же переключатель находится в положении «$h_{21э}$», на базу транзистора через резистор R1 подается напряжение смещения, создающее в цепи базы ток, усиливаемый транзистором. При этом показание миллиамперметра, включенного в коллекторную цепь, умноженное на 100, соответствует примерному значению статического коэффициента передачи тока $h_{21э}$ данного транзистора. Например, если миллиамперметр покажет ток 0,6 мА, коэффициент $h_{21э}$ данного транзистора будет 60.

Положение контактов переключателя SA1, показанное на схеме, соответствует включению прибора для проверки транзисторов структуры p-n-p. В этом случае на коллектор и базу транзистора относительно эмиттера подается отрицательное напряжение, миллиамперметр подключен к батарее отрицательным зажимом. Для проверки транзисторов структуры n-p-n подвижные контакты переключателя SA2 надо перевести в другое, нижнее (по схеме) положение. При этом на коллектор и базу транзистора относительно эмиттера будет подаваться положительное напряжение, изменится и полярность включения миллиамперметра в коллекторную цепь транзистора.

Проверяя коэффициент $h_{21э}$ транзистора, следи внимательно за стрелкой миллиамперметра. Коллекторный ток с течением времени не должен изменяться — «плыть». Транзистор с плавающим током коллектора не годен для работы.

Учти: во время проверки транзистор нельзя держать рукой, так как от тепла руки ток коллектора может измениться.

Какова роль резистора R2, включенного последовательно в коллекторную цепь проверяемого транзистора? Он ограничивает ток в этой цепи на случай, если коллекторный переход транзистора окажется пробитым и через него пойдет недопустимый для миллиамперметра ток.

Максимальный обратный ток коллектора $I_{КБО}$ для маломощных низкочастотных транзисторов может достигать 20...25, но не больше 30 мкА. В нашем приборе это будет соответствовать очень малому отклонению стрелки миллиамперметра — примерно третьей части первого деления шкалы. У хороших маломощных высокочастотных транзисторов ток $I_{КБО}$ значительно меньше — не более нескольких микроампер, прибор на него почти не реагирует. Транзисторы, у которых $I_{КБО}$ превышает в не-

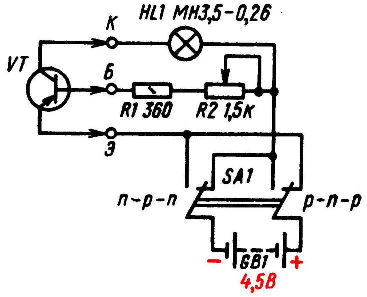


Рис. 119. Схема прибора для проверки транзисторов средней и большой мощности

сколько раз допустимый, считай непригодными для работы — они могут подвести.

Прибор с миллиамперметром на 1 мА позволяет измерять статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ до 100, т. е. наиболее распространенных транзисторов. Прибор с миллиамперметром на ток 5...10 мА расширит соответственно в 5 или 10 раз пределы измерений коэффициента $h_{21Э}$. Но прибор станет почти нечувствительным к малым значениям обратного тока коллектора.

У тебя, вероятно, возник вопрос: нельзя ли в приборе для проверки параметров транзисторов использовать микроамперметр описанного ранее миллиампервольтомметра? Ответ однозначный: можно. Для этого микроамперметр комбинированного прибора надо установить на предел измерения до 1 мА и подключать его к приставке для проверки транзисторов вместо миллиамперметра PA1.

Для проверки работоспособности и сравнительной оценки усилительных свойств транзисторов средней и большой мощности можно воспользоваться пробником со световой индикацией, схема которого показана на рис. 119. В нем роль индикатора выполняет лампочка HL1 на напряжение 3,5 В и ток накала 0,26 А (МН3,5-0,26), находящаяся в коллекторной цепи проверяемого транзистора VT. Переменным резистором R2, включенным реостатом, изменяют ток базовой цепи и тем самым больше или меньше открывают транзистор. Резистор R1 ограничивает ток в цепи до 10 мА. Полярность включения батареи питания GB1, соответствующую структуре проверяемого транзистора, устанавливают переключателем SA1.

Если проверяемый транзистор исправный, то по мере увеличения тока базы при перемещении движка резистора R2 справа налево (по схеме) транзистор открывается все больше и лампочка светится ярче. Это говорит о том, что проверяемый транзистор работоспособен. Чем больше его коэффициент передачи тока, тем при большем сопротивлении введенной части резистора R2 возникает заметный на глаз накал нити лампочки. И если этот резистор будет иметь равномерную шкалу хотя бы из десятка больших делений, то по ней можно оценивать примерный коэффициент $h_{21Э}$ проверяемого транзистора. Если же лампочка не горит даже тогда, когда движок резистора находится в крайнем левом (по схеме) положении, это укажет на неисправность транзистора, например, из-за обрыва в цепи одного из его электродов. Яркое свечение лампочки при любом положении движка резистора R2 будет свидетельствовать о пробое участка эмиттер — коллектор транзистора.

Батарея питания, зажимы и переключатель структуры проверяемого транзистора такие же, как в предыдущем приборе. Переменный резистор R2 типа СП или СПО. Ориентировочные отметки на шкале переменного резистора можно сделать по образцовым транзисторам с известными параметрами $h_{21Э}$.

А как измерить основные параметры полевого транзистора? Для этого нет надобности конструировать специальный прибор, тем более, что в твоей практике полевые транзисторы будут использоваться не так часто, как маломощные биполярные.

Для тебя наибольшее практическое значение имеют два параметра полевого транзистора: $I_{С нач}$ — ток стока при нулевом напряжении на затворе и S — крутизна характеристики. Измерить эти параметры можно по схеме, приведенной на рис. 120. Для этого потребуются: миллиамперметр PA1 (используй комбинированный прибор, включенный на измерение постоянного тока), батарея GB1 напряжением 9 В («Крона» или составленная из двух батарей 3336) и элемент G1 (332 или 316).

Делай это так. Сначала вывод затвора проверяемого транзистора соедини с выводом истока. При этом миллиамперметр покажет значение первого параметра транзистора — начальный ток стока $I_{С нач}$. Запиши его значение. Затем разъедини выводы затвора и истока (на

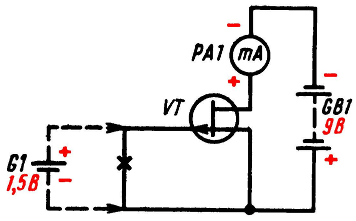


Рис. 120. Схема измерения параметров $I_{С нач}$ и S полевого транзистора

рис. 120 обозначено крестом) и подключи к ним элемент G1 плюсовым полюсом к затвору (на схеме показано штриховыми линиями). Миллиамперметр зафиксирует меньший ток, чем $I_{\text{С нач}}$. Если теперь разность двух показаний миллиамперметра разделить на напряжение элемента G1, получившийся результат будет соответствовать численному значению параметра S проверяемого транзистора.

Для измерения таких же параметров полевых транзисторов с p-n переходом и каналом типа n полярность включения миллиамперметра, батареи и элемента надо поменять на обратную.

⁂

Измерительные пробники и приборы, о которых я рассказал в этой беседе, поначалу тебя вполне устроят. Но позже, когда настанет время конструирования и налаживания радиоаппаратуры повышенной сложности, например супергетеродинных приемников, аппаратуры телеуправления моделями, потребуются еще измерители емкости конденсаторов, индуктивности катушек, вольтметр с повышенным относительным входным сопротивлением, генератор колебаний звуковой частоты. Об этих приборах, которые пополнят твою измерительную лабораторию, я расскажу позже.

Но, разумеется, самодельные приборы не исключают приобретение промышленных. И если такая возможность у тебя появится, то в первую очередь купи авометр — комбинированный прибор, позволяющий измерять постоянные и переменные напряжения и токи, сопротивления резисторов и даже основные параметры транзисторов. Такой прибор при бережном обращении с ним многие годы будет тебе верным помощником в радиотехническом конструировании.

БЕСЕДА ВОСЬМАЯ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКАЯ МАСТЕРСКАЯ

Надеюсь, что мои первые беседы и навыки труда, приобретенные в школе, помогли тебе построить и испытать простейшие транзисторные приемники, некоторые измерительные приборы. Но уже на том коротком радиолюбительском пути тебе пришлось обзавестись кое-какими столярными, слесарными и монтажными инструментами, материалами, деталями. Это «хозяйство» твоей мастерской будет постепенно пополняться.

Настало время определить и оборудовать постоянное место, где, не мешая другим и не нанося вреда домашним вещам, можно было бы с удобством пилить, строгать, клеить, сверлить, паять, красить — словом, мастерить. Это будет твой рабочий уголок.

Вот о таком уголке, о приемах монтажных работ, о технологии изготовления некоторых деталей я и хочу поговорить в этой беседе.

РАБОЧИЙ СТОЛ

Для поделки мелких деталей, сборки, монтажа и налаживания конструкций ты, вероятно, будешь пользоваться своим письменным столом. Но чтобы стол не повредить, сделай доску, которую будешь накладывать на него во время радиолюбительских дел.

Такая доска, положенная на письменный стол, показана на рис. 121. Для ее изготовления потребуются лист фанеры толщиной 4...6 мм и четыре деревянных бруска сечением примерно 20×25 мм. Три бруска прибей вдоль переднего и боковых краев фанеры с таким расчетом, чтобы между ними точно вписывалась крышка стола. Этой стороной фанеру будешь накладывать на стол. Четвертый брусок прибей вдоль заднего края фанеры, но с верхней стороны. У тебя получится щит, который благодаря трем нижним брускам не будет передвигаться по столу. Верхний брусок будет служить бортиком.

Если ты будешь заниматься монтажными

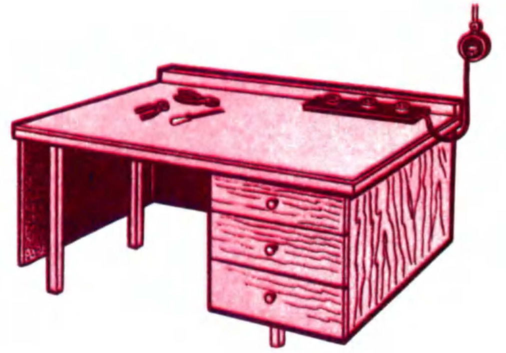


Рис. 121. Рабочий стол

работами на большом столе, то сделай щиток, который можно было бы положить на угол стола. В этом случае снизу к фанере прибей не три, а два ограничительных бруска, а оставшиеся два прибей с верхней стороны фанеры.

Готовый щит зачисть шкуркой, протрави морилкой или раствором марганцевокислого калия (марганцовки), покрой лаком или покрась масляной краской. В правом заднем углу монтажного щита укрепи отрезок узкой доски с тремя штепсельными розетками. Розетки соедини параллельно. С помощью соединительного шнура ты будешь подключать розетки к электросети. Почему три розетки? Для удобства налаживания приемников, усилителей и других приборов, питающихся от электросети: одна — для электропаяльника, вторая — для испытываемой конструкции, третья — для настольной лампы. Желательно, чтобы штепсельная розетка, в которую ты будешь включать вилку шнура электрораспределительной колодки, была оборудована плавким предохранителем на ток 2...3 А. Если случайно произойдет замыкание в паяльнике или испытываемой конструкции, то перегорит предохранитель этой розетки, а не квартирной электросети.

ИСКУССТВО ПАЙКИ

Да, юный друг, надежность электрических контактов между проводниками, деталями и прочность монтажа конструкции в целом во многом зависит от того, как ты овладел искусством пайки. Научиться этому искусству — твоя первейшая задача.

Основным инструментом для пайки служит паяльник — стержень или кусок красной меди, нагреваемый до температуры плавления припоя. Конец стержня запилен наподобие клина — это рабочая часть, или жало паяльника.

Радиолюбители пользуются электрическими паяльниками. Стержень электрического паяльника вставлен в металлическую трубку. Трубка обернута слюдой или стеклотканью. Поверх этого изоляционного слоя намотана нихромовая проволока — это нагревательный элемент паяльника. Сверху он защищен слоем асбеста и металлическим кожухом. На другой конец трубки насажена деревянная или пластмассовая ручка. С помощью вилки на шнуре, соединенном с нагревательным элементом, паяльник включают в штепсельную розетку электросети. Электрический ток раскаляет проволоку, а проволока отдает тепло медному стержню и нагревает его.

Наша промышленность выпускает несколько конструкций электрических паяльников, рассчитанных в основном на напряжение 127 и 220 В. Значение напряжения, на которое рассчитан паяльник, и мощность тока, потребляемая им, выштампованы на его металлическом кожухе. Лучше, конечно, а главное безопаснее, пользоваться паяльником типа ПСН 25 — 36 В, рассчитанным на напряжение 25...36 В. Для питания такого паяльника потребуется понижающий трансформатор.

На рис. 122, *а, б* показаны две наиболее распространенные конструкции электрических паяльников. На нем верхний паяльник имеет кроме прямого Г-образный сменный стержень. При работе в трубку нагревательного элемента вставляют тот стержень, которым удобнее работать. У второго паяльника стержень прямой и более тонкий по сравнению с первым, который тоже можно заменять. Но основное различие между ними заключается не только

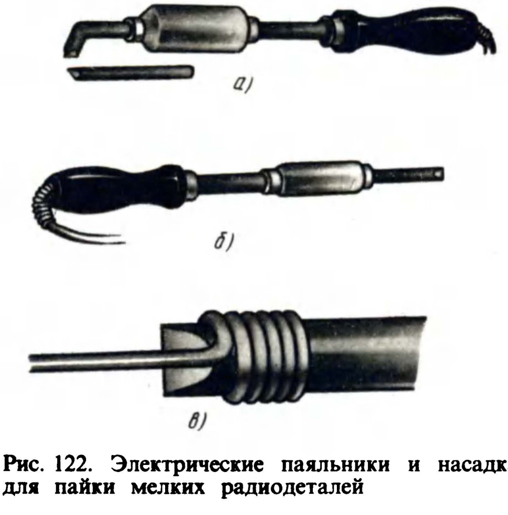


Рис. 122. Электрические паяльники и насадка для пайки мелких радиодеталей

в стержнях: первый паяльник более мощный (80...100 Вт), им можно паять массивные детали и даже ремонтировать небольшие хозяйственно-бытовые вещи; второй паяльник менее мощный (35...40 Вт) и предназначен в основном для радиомонтажа.

Желательно, конечно, иметь два паяльника разных мощностей. Основным же будет электропаяльник мощностью 35...40 Вт. Но такой паяльник нельзя считать универсальным для радиомонтажа. Сравнительно толстым жалом не всегда можно «добраться» до любой точки монтажа. Его жало, кроме того, имеет слишком высокую температуру, опасную для пайки мелких радиодеталей, выводов малогабаритных транзисторов, микросхем. В таких случаях пользуйся насадкой (рис. 122, *в*) — спиралью из луженой медной проволоки диаметром 1,5...2 мм, надеваемой на жало паяльника. Пайку мелких деталей осуществляют кончиком насадки, нагреваемой основным стержнем паяльника.

Для пайки нужны еще припой и флюс.

Припоями называют легкоплавкие металлические сплавы, с помощью которых проводят пайку. Иногда для пайки применяют чистое олово. Оловянная палочка имеет светлую серебристо-матовую поверхность и при изгибе или сжатии плоскогубцами хрустит. Но чистое олово сравнительно дорого, поэтому применяют его только для залуживания и пайки посуды, предназначенной для приготовления и хранения пищи. Для радиомонтажа обычно используют оловянно-свинцовые припои ПОС-40 или ПОС-61, представляющие собой сплав олова и свинца. Цифры в марках припоев указывают процентное содержание в них олова. В припое ПОС-61, например, содержится 39% свинца и 61% олова. С виду припои похожи на чистое олово, но они менее светлые — матовые. Чем больше в припое свинца, тем он темнее. Однако по прочности спайки оловянно-свинцовый припой не уступает чистому олову. Плавится он при температуре 180...200° С. Удобнее пользоваться кусочком припоя в виде палочки.

Флюсами называют вещества, которые применяют для того, чтобы подготовленные к пайке места деталей или проводников не окислялись во время прогрева их паяльником. Без флюса припой не будет «прилипать» к поверхности металла.

Флюсы бывают разные. В мастерских, например, где ремонтируют металлическую посуду и другой домашний инвентарь, применяют «паяльную кислоту». Это раствор цинка в соляной кислоте. Для монтажа радиоаппаратуры такой флюс совершенно не пригоден, так как при прикосновении к нему паяльника он разбрызгивается, загрязняет монтаж и со временем разрушает соединения, мелкие детали. Даже небольшая капелька кислоты, попавшая на тонкий обмоточный провод, через короткий промежуток времени разъедает его.

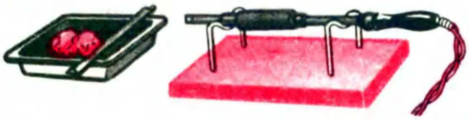


Рис. 123. Подставка для паяльника

Для радиомонтажа пригодны только такие флюсы, в которых совершенно нет кислоты. Одним из таких флюсов является канифоль. Если пайка производится в легкодоступных местах, используют канифоль в кусочках. В тех же случаях, когда трудно добраться до детали с кусочком канифоли, используют густой раствор канифоли в спирте или ацетоне. Чтобы канифоль хорошо растворилась, ее нужно размельчить в порошок. Так как спирт или ацетон быстро улетучиваются, такой флюс следует хранить в пузырьке и с притертой пробкой, например из-под одеколона. Спирто-канифольный флюс наносят на спаиваемые места с помощью тонкой палочки или кисточки.

Рекомендую для паяльника сделать подставку, а припой и канифоль держать в баночке из алюминия (рис. 123). Эти простые приспособления создадут определенные удобства в работе, а паяльник, припой и канифоль будут содержаться в чистоте.

Умение хорошо паять — своего рода искусство, которое дается не сразу, а в результате практики, иногда длительной. Секрет прочной и красивой пайки заключается в аккуратности и чистоте: если плохо зачищены проводники, загрязнен, недогрет или перегрет паяльник, никогда не получится хорошей пайки. Недостаточно горячий паяльник превращает припой в кашицу, которой паять нельзя. Признаком достаточного прогрева паяльника являются вскипание канифоли и обильное выделение пара при соприкосновении ее с паяльником. Нормально нагретое жало паяльника хорошо плавит припой и не покрывается окалиной.

Рабочий конец паяльника должен быть всегда горячим и хорошо залужен — покрыт тонким слоем припоя. Залуживают паяльник так: его разогревают, зачищают жало напильником или наждачной бумагой, опускают в канифоль и прикасаются им к кусочку припоя. После этого жало быстро трут о дерево, чтобы вся его рабочая поверхность покрылась тонким слоем припоя. Если припой не пристает даже к хорошо прогретому жалу, его нужно еще раз зачистить и вновь залудить.

Паяльник можно считать хорошо залуженным тогда, когда жало равномерно покрыто

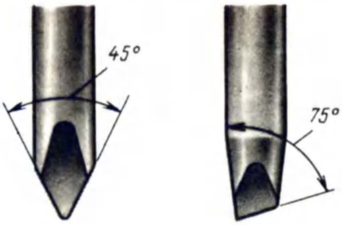


Рис. 124. Наиболее удобная форма рабочего конца жала паяльника

слоем припоя и с его кончика при нагреве свисает капелька припоя. Рабочий конец любого паяльника со временем «выгорает», на нем образуются углубления — раковины. Придать ему правильную форму можно напильником, зажав жало в тиски. Наиболее удобная форма рабочей части паяльника показана на рис. 124.

Места проводников или деталей, предназначенных для спайки, должны быть зачищены до блеска и залужены. Пайка без залуживания отнимает больше времени и менее надежна. Залуживание проводников удобнее делать так: зачищенным проводником коснуться канифоли и хорошо прогреть его паяльником (рис. 125). Канифоль, расплавляясь, покрывает поверхность проводника, и припой, имеющийся на паяльнике, растекается по нему. Поворачивая проводник и медленно передвигая по нему жало паяльника, легко добиться равномерного покрытия поверхности проводника тонким слоем припоя. Если при пайке будешь использовать жидкий канифольный флюс, смачивай залуживаемую деталь этим флюсом с помощью палочки или кисточки, а затем прогревай деталь паяльником до тех пор, пока припой не растечется по его поверхности.

Чтобы спаять залуженные проводники или детали, их надо плотно прижать друг к другу и к месту их соприкосновения приложить паяльник с капелькой припоя, повисающей на жале. Как только место пайки прогреется, припой растечется и заполнит промежуток между деталями. Плавным движением паяльника равномерно распредели припой по всему месту спайки, а излишек удали тем же паяльником — припой быстро затвердеет и прочно скрепит детали. Очень важно, чтобы спаянные детали после удаления паяльника не сдвигались с места, пока не затвердеет припой, иначе пайка будет непрочной.

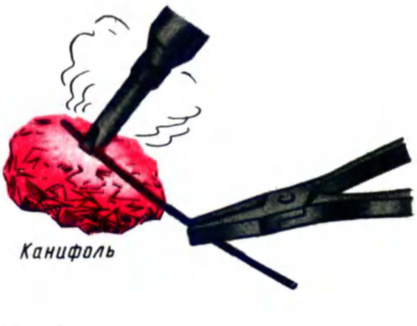


Рис. 125. Залуживание проводника

Если невозможно залудить поверхности спаиваемых деталей раздельно, их надо плотно прижать, смазать место соприкосновения жидким канифольным флюсом (или поднести к нему кусочек канифоли) и прогреть паяльником, предварительно взяв на него припой. Прогревай детали до тех пор, пока припой не растечется по всему месту спайки.

Запомни: хорошей пайкой можно считать такую, при которой припой лежит не комком, а тонким слоем обливает место пайки со всех сторон.

Начинающие, еще не имеющие опыта радиолюбители иногда стараются «замазывать» место пайки припоем, а потом удивляются, почему не получается прочного соединения, хотя припоя израсходовано много. Искусство хорошей пайки заключается в том, чтобы провести пайку при малом расходе припоя. А это достигается при хорошо прогретом и залуженном паяльнике. Только при этих условиях пайка получается прочной, аккуратной и красивой.

Учти: пары канифоли действуют на слизистые оболочки глаз и носоглотки, поэтому паять нужно в проветриваемом помещении. Еще лучше, если во время пайки на рабочем месте будет вентилятор.

О НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛАХ И ПРИЕМАХ МОНТАЖА

Качество работы приемника, усилителя или другого радиотехнического устройства во многом зависит от рациональности размещения деталей и прочности их монтажа. Основные детали должны располагаться так, чтобы соединительные проводники были по возможности короткими и не пересекались. Монтаж должен быть жестким, чтобы предупредить случайные соединения между деталями и проводниками, которые могут появиться при толчках и встряхивании. Кроме того, монтаж должен быть компактным, удобным для проверки, замены деталей и, конечно, красивым.

Основой, как бы фундаментом радиотехнических устройств или приборов, служат плоские панели или панели в виде ящичков — шасси. Как плоские панели, так и шасси могут быть фанерными, металлическими, из листового оргалита, пластмассовыми или комбинированными из разных материалов. Если панель фанерная или оргалитовая, то надо позаботиться о том, чтобы она была достаточно хорошим изолятором. Она не должна впитывать влагу — отсыревшая панель может быть причиной утечки тока и, следовательно, отказа в работе радиоаппарата. Чтобы этого не случилось, фанеру, прежде чем делать из нее панель или шасси, хорошенько высуши, натри со всех сторон расплавленным парафином или воском или покрой один-два раза спиртовым или масляным лаком. Обработанные таким способом материалы не будут впитывать влагу, да и внешний вид основания радиоконструкции, сделанного из них, будет более опрятным.

Тонкая фанера удобна для обработки, но сделанные из нее панель или шасси будут непрочными. Лучше всего подойдет хорошо проклеенная березовая фанера толщиной 4...6 мм. Строительная фанера хуже, так как она при обработке часто расслаивается, трескается, имеет неровности. Если нет фанеры требуемой толщины, панель можно склеить из двух кусков более тонкой фанеры. Склеиваемые куски фанеры суши под грузом, иначе они могут покоробиться или вообще не склеиться.

Листовой металл сложнее в обработке, особенно в домашних условиях. Зато панель или шасси, сделанные из него, лучше фанерных. И не только потому, что они прочнее. Металл служит экраном, устраняющим паразитные взаимосвязи между отдельными деталями и цепями через магнитные и электрические поля, что во многих случаях является обязательным техническим требованием, и используется в качестве заземленного проводника, что упрощает монтаж. Для металлического шасси лучше всего использовать листовой алюминий толщиной 1,5...2 мм. Вырезать заготовку и изогнуть шасси или склепать его из полос, просверлить в нем отверстия можно в школьных мастерских, а окончательно обработать шасси дома.

Но, используя для панели или шасси листовой металл, будь очень внимательным при монтаже: все детали, проводники и электрические цепи, которые по схеме не «заземляются», должны быть самым тщательным образом изолированы от них.

Для панелей и монтажных плат конструируемых приемников, усилителей, измерительных приборов радиолюбители часто используют листовой гетинакс, стеклотекстолит или органическое стекло толщиной 1,5...3 мм. Эти материалы — хорошие изоляторы. Они легко обрабатываются, а детали, сделанные из них, всегда выглядят опрятно. Вырезать заготовки панелей, монтажных плат или каких-то иных деталей из листовых материалов толщиной до 4...5 мм лучше всего с помощью ножа-резака, сделанного из ножовочного полотна. Конец отрезка полотна длиной 130...140 мм заточи на точильном станке по форме, показанной на рис. 126, *а*, ручку такого резака оберни несколькими слоями изоляционной ленты (чтобы во время работы не попортить руку). Угол режущей части должен составлять 30...35% и по ширине быть равным толщине полотна.

Пользуйся резаком так. Лист гетинакса или другого материала положи на стол или фанеру с ровной поверхностью, наложи на него металлическую линейку и по ней, снимая стружку за стружкой, надрезай материал примерно до половины его толщины (рис. 126, *б*). Затем точно так же надрежь материал с другой стороны и разломи по линии разреза. Если надрезы с обеих сторон совпадают, то торец заготовки детали после опиловки напильником получится ровным.

Размечая будущую заготовку, учитывай ширину рабочей части резака.

Такой резак понадобится тебе и при гибке листового алюминия или дюралюминия. Дело в том, что получить прямой ровный угол согнутого металла не так-то просто, даже зажимая его в тисках между двумя стальными пластинами или уголками. Иное дело, если этот материал будет предварительно прорезан по линии сгиба примерно на треть или половину его толщины (рис. 126, *в*). В этом

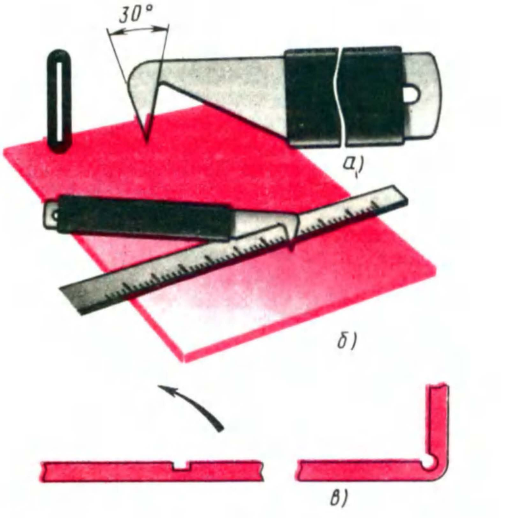


Рис. 126. Нож-резак (*а*), пользование им (*б*) и гибка листового металла (*в*)

случае угол в месте изгиба обязательно получится ровным и прямым.

Рассказывая об устройстве приемников, усилителей или других приборов, я не всегда буду указывать размеры их монтажных плат, панелей или шасси. Почему? Да потому, что не для каждого случая может подойти один и тот же совет. Многое зависит от конструкции и габаритных размеров имеющихся деталей. Поэтому, прежде чем сделать заготовку, подбери все необходимые детали, расположи их на листе бумаги в рекомендуемом порядке и уточни будущие размеры монтажной платы. Стремиться к уменьшению платы или шасси не надо — на маленькой площади монтаж делать труднее.

Сделав плату или шасси, размести на них детали, наметь места всех необходимых отверстий. Окончательную разметку отверстий делай с помощью линейки и циркуля. Диаметры отверстий должны быть такими, чтобы детали прочно держались в них. Для монтажа используют голый или изолированный, луженый или посеребренный медный провод толщиной 0,8...1,5 мм. Такой провод хорошо проводит электрический ток, а монтаж, выполненный им, будет прочным.

Предназначенный для монтажа провод надо выпрямить. Для этого отрезок провода длиной 1,5...2 м зажми одним концом в тисках или прикрути к какому-либо предмету и сильно потяни за другой конец, захватив его плоскогубцами. Провод немного вытянется и станет прямым. От него ты будешь кусачками откусывать нужной длины соединительные проводнички. Все соединения тщательно пропаивай. В местах возможных замыканий между проводами надевай на них резиновые, поливинилхлоридные или другие изоляционные трубки либо обматывай их на этих участках изоляционной лентой.

В магазинах, торгующих радиодеталями, имеются наборы монтажных материалов. В них входят монтажные провода различных марок и изоляционные трубочки. Советую и тебе пользоваться этими наборами.

При монтаже, во время испытания и налаживания аппаратуры часто приходится спаивать и распаивать проводники, заменять одну деталь другой. Это всегда надо учитывать, применяя в каждом случае наиболее удобные приемы монтажа. Некоторые из них показаны на рис. 127. Если нужно срастить два прямолинейных проводника, их концы можно не скручивать, а лишь сложить вместе так, чтобы их поверхности соприкасались на длине 6...8 мм, и спаять. Когда же надо соединить проводники под прямым углом, конец одного проводника можно согнуть, прижать к другому проводнику и в таком виде спаять их. Не рекомендую спаивать несколько проводников или деталей в одной точке. В этом случае при необходимости удаления одного из проводников или детали неизбежно рассыплется весь узел спайки.

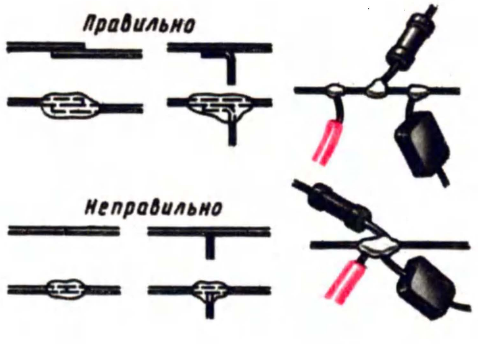


Рис. 127. Способы соединения проводников и деталей пайкой

А если условия монтажа диктуют необходимость соединения нескольких деталей в одной точке? В таких случаях надо использовать монтажные стойки. Простейшей монтажной стойкой может служить, например, отрезок карандаша (рис. 128, *а*). Заточенную часть карандаша отпили, а грифель удали — получится стойка с отверстием для крепежного винта или шурупа. Одним концом крепи стойку к панели. На другом конце укрепи винтом «звездочку», вырезанную из жести. К этой звездочке и припаивай проводники и детали радиоконструкции.

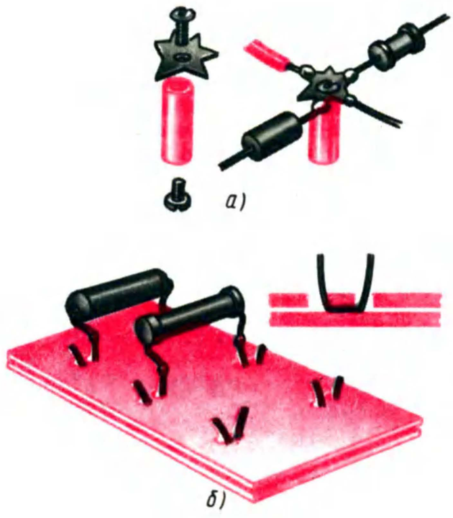


Рис. 128. Самодельные монтажная стойка (*а*) и монтажная планка (*б*)

Чем сложнее конструкция, тем больше в ней резисторов и конденсаторов. Обычно они не могут быть припаяны непосредственно к другим, прочно закрепленным деталям. В таких случаях надо прибегать к монтажным планкам — пластинкам из изоляционного материала с контактными лепестками, к которым припаивают детали, проводники.

Простую самодельную монтажную планку ты видишь на рис. 128, *б*. Ее основанием служат две пластинки, вырезанные из листового гетинакса или текстолита. В крайнем случае их можно сделать из плотного картона или фанеры, предварительно проварив их в горячем парафине или пропитав лаком, чтобы они стали хорошими изоляторами. Контактные лепестки, вырезанные из жести, латуни или сделанные из медной проволоки толщиной 1,5...2 мм, удерживаются в отверстиях, просверленных в верхней пластинке. Пластинки складывают и привинчивают непосредственно к панели или крепят на стойках. Размеры монтажных планок и число контактных лепестков на них определяются размерами и числом монтируемых на них деталей.

Детали транзисторных конструкций монтируют обычно на панелях из листового гетинакса или стеклотекстолита, а в качестве опорных точек деталей используют проволочные «шпильки» или пустотелые заклепки (пистоны). Детали размещают с одной стороны панели, а их выводы соединяют между собой с другой стороны панели. Такие панели с деталями, смонтированными на них, называют *монтажными платами*.

Монтаж на шпильках (рис. 129, *а*) делают так. Отрезки медной луженой или посеребренной проволоки диаметром 1...1,5 и длиной 8...10 мм запрессовывают в плате так, чтобы с той стороны платы, где будут детали, они выступали на 4...5 мм, а с другой — на 2...3 мм. Чтобы шпильки не болтались, отверстия в плате должны быть чуть меньше диаметра шпилек, а шпильки в средней части чуть сплюснуты ударом молотка. Для запрессовки шпилек используют оправку — стальной стержень с направляющим отверстием под шпильку, просверленным с торца (рис. 129, *б*). С помощью такого приспособления шпильку можно направить в отверстие и ударом молотка вбить ее.

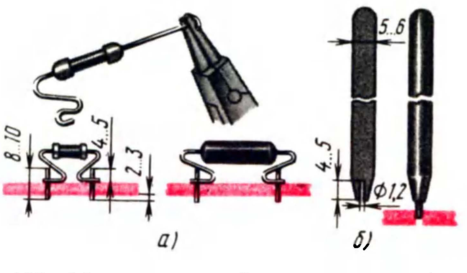


Рис. 129. Монтаж деталей на шпильках (проволочных стойках) и приспособление для запрессовки шпилек

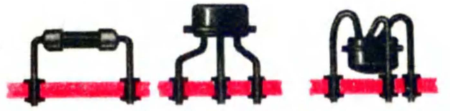


Рис. 130. Монтаж деталей на пустотелых заклепках (пистонах)

Концы проволочных выводов деталей с помощью круглогубцев изгибают петлями, надевают на шпильки и припаивают к ним. Точно так же припаивают к шпилькам и соединительные проводники, но уже с другой стороны платы.

Примеры некоторых приемов монтажа на пустотелых заклепках показаны на рис. 130. Заклепки запрессовывают в отверстия в плате и впаивают в них выводы деталей. Если готовых заклепок нет, то их можно сделать из латунных или медных трубок с внешним диаметром 1,5...2 мм, нарезав из них кусочки длиной по 3...4 мм — на 1,5...2 мм длиннее толщины платы. Хорошие заклепки получаются из контактных штырьков вышедших из строя радиоламп с отальным цоколем. Такие трубочки нужно плотно вставить в отверстия в плате и края с обеих сторон развальцевать кернером или заточенным на конце гвоздем.

Иногда можно обходиться без шпилек и пустотелых заклепок, пропуская выводы деталей через отверстия в плате и спаивая их между собой с другой стороны платы. Но при таком монтаже сложнее заменять детали.

О ГНЕЗДАХ, ЗАЖИМАХ И КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Не только монтажные платы, стойки, планки, но и другие детали придется делать самому, если в твоем пока что небольшом хозяйстве их нет. Например, гнезда и зажимы. Если речь идет о совсем простых конструкциях, которые обычно монтируют на фанерных панелях или шасси, гнезда для них можно сделать из разных имеющихся под рукой материалов. Например, гнездом может служить гильза стреляного патрона малокалиберной винтовки (рис. 131, *а*). Гильзу забивай молотком в отверстие с нижней стороны панели, а выступающие сверху края

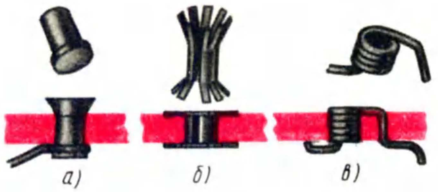


Рис. 131. Самодельные гнезда

развальцовывай с помощью кернера или другого конусообразного металлического стержня или толстого гвоздя.

Неплохое гнездо получается из жести (рис. 131, *б*). По краям жестяной пластинки размерами 15×15 мм сделай ножницами надрезы, сверни пластинку в трубочку диаметром 4 мм, вставь ее в отверстие в панели, а выступающие снаружи надрезанные концы отогни в стороны и прижми к панели. Гнездо можно также сделать из голой медной проволоки толщиной 1...2 мм (рис. 131, *в*). Отрезок проволоки сверни в спираль на гвозде, чтобы получилась трубочка. Сделанное таким способом гнездо должно туго входить в отверстие панели и прочно держаться в нем.

Но тебе чаще нужны будут спаренные гнезда на планках из изоляционного материала, которые называют также двухгнездными колодками. Их можно крепить как на фанерных, так и на металлических панелях или шасси. Двухгнездная колодка промышленного изготовления, изображенная на рис. 132, *а*, представляет собой цельнолитые гильзы, запрессованные в пластмассу. Между гнездами имеется сквозное отверстие под крепежный шуруп или винт. А гнезда, показанные на рис. 132, *б*, сделаны из листового металла и запрессованы в гетинаксовой планке. С помощью винтов или шурупов, пропущенных через отверстия в планке, их монтируют на панели или шасси.

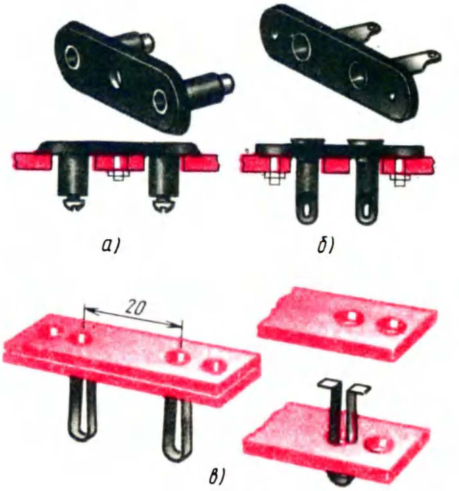


Рис. 132. Промышленные и самодельные двухгнездные колодки

Одна из возможных конструкций самодельной двухгнездной колодки показана на рис. 132, *в*. Из гетинакса, текстолита, органического стекла или в крайнем случае из тонкой фанеры вырежь две пластинки размерами 10×45 мм. Просверли в них два отверстия диаметром 4 мм для гнезд. Расстояние между центрами этих отверстий должно быть равно точно 20 мм. Из жести вырежь две полоски шириной 2,5...3 и длиной около 40 мм. Согни их наподобие латинской буквы U, вставь в отверстия одной из пластин, а сверху наклей вторую пластинку — получится колодочка с двумя штепсельными гнездами.

Коротко о зажимах. Любой зажим независимо от его конструкции представляет собой шпильку с винтовой нарезкой под гайки и зажимную головку. Значит, роль зажима может выполнять винт диаметром 3...4 мм (М3, М4) с гайками, как показано на рис. 133. Впрочем, во многих случаях зажим может быть заменен гнездом.

Теперь о коммутационных элементах — устройствах, предназначаемых для включения, выключения и коммутации (переключения) различных электрических цепей, а также соединения или, наоборот, разъединения участков цепей.

С назначением переключателей ты уже знаком по беседе, посвященной детекторному приемнику. Но тогда я не рассказал тебе о том, как сделать ползунковый переключатель для коммутации отводов контурной катушки первого варианта приемника. Делаю это сейчас.

На рис. 134, *а* показаны две конструкции самодельных переключателей. Ползунок любого из них сделай из полоски латуни или меди

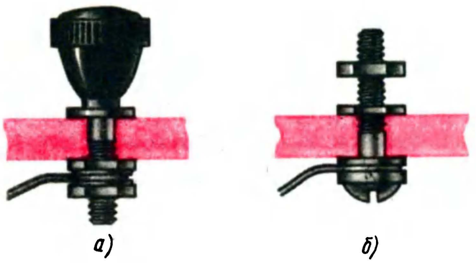


Рис. 133. Зажим промышленного изготовления (*а*) и самодельный (*б*)

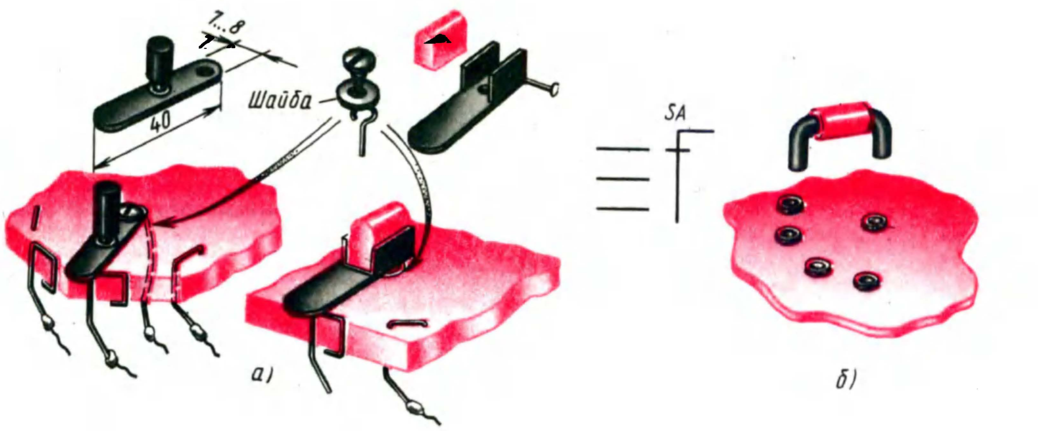


Рис. 134. Самодельные переключатели

толщиной 0,5...0,7, шириной 7...8 и длиной около 40 мм. Предварительно заготовку отгартуй легкими ударами молотка, положив ее на напильник; так делают для того, чтобы ползунок лучше пружинил и плотно прижимался к головкам контактов. Края ползунка немного изогни вверх, тогда он будет плавно, без заеданий переходить с контакта на контакт. А чтобы прикосновение руки не влияло на настройку приемника, приделай к ползунку деревянную или пластмассовую ручку. К панели ползунок крепи винтом с гайкой или шурупом, вокруг которого он должен поворачиваться, но не болтаться на нем. Под ползунок подложи металлическую шайбу.

Контакты переключателя можно сделать из отрезков медной проволоки диаметром 2...3 мм, согнутых наподобие буквы П и пропущенных через отверстия в панели, из стреляных гильз малокалиберных патронов или использовать для этой цели шурупы с круглой шляпкой. Важно, чтобы выступающая над панелью часть контакта была гладкой и имела надежный контакт с ползунком.

На рис. 134, *б* показана еще одна конструкция самодельного переключателя. Это П-образная скоба, согнутая из толстой медной проволоки. Ее вставляют в гнезда, замыкая центральное гнездо с гнездами, расположенными по окружности. На среднюю часть скобы надевают отрезок поливинилхлоридной или резиновой трубки или эту часть обертывают изоляционной лентой.

Такие или подобные им переключатели можно использовать не только в детекторных, но и в простых транзисторных приемниках, например, в качестве переключателей диапазонов.

Для коммутации одной-двух цепей, будь то в колебательном контуре приемника, во входной цепи усилителя или в цепи питания устройства, радиолюбители широко используют так называемые тумблеры. На рис. 135 ты видишь три таких тумблера: типа МТ-1 (его называют микротумблером), ТВ2-1 и ТП1-2. В первом из них три контакта: переключающийся 1 и неподвижные 2 и 3. В одном из положений ручки тумблера замкнуты контакты 1 и 2 (как на рис. 135), в другом — контакты 1 и 3. С помощью такого тумблера в колебательный контур можно включать разные катушки и таким образом переключать контур на прием радиостанций двух диапазонов, например длинноволнового и средневолнового. При использовании тумблера в качестве выключателя питания контакт 2 или 3 остается бездействующим.

Тумблер ТВ2-1 состоит из двух пар неподвижных контактов 1, 2 и 3, 4, которые попарно замыкает подвижный контакт (на схеме не показан). В одном из положений ручки замкну-

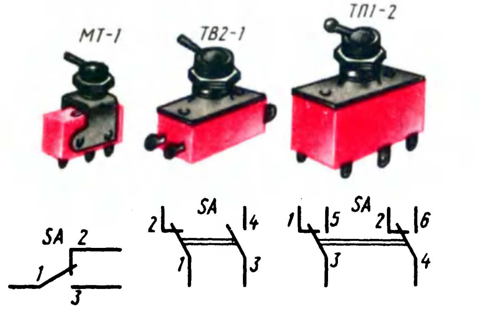


Рис. 135. Конструкции и схемы тумблеров МТ-1, ТВ2-1 и ТП1-2

та одна из пар неподвижных контактов, например контакты 1 и 2, а контакты 3 и 4 разомкнуты. При переводе ручки в другое положение замкнутые контакты размыкаются, а разомкнутые замыкаются. Если контакты 1 и 3 соединить вместе, то такой тумблер может выполнять такие же функции, что и тумблер МТ-1.

Тумблер ТП1-2 состоит, по существу, из двух переключателей, подобных тумблеру МТ-1, подвижные контакты 3 и 4 которых механически связаны между собой. При размыкании контактов 3 и 1, 4 и 2 одновременно замыкаются контакты 3 и 5, 4 и 6. Таким тумблером можно одновременно коммутировать две цепи, например замыкать или разрывать оба провода источника питания или переключать катушки двух колебательных контуров.

К коммутационным устройствам относятся также выключатели и переключатели цепей постоянного и переменного тока, управляемые кнопками — кнопочные переключатели. Конструкции двух типов таких переключателей показаны на рис. 136. Переключатель КМ1 аналогичен тумблеру МТ-1, но у него переключение контактов осуществляется нажатием на кнопку. Переключатель П2К двухсекционный, и каждая секция может работать как самостоятельный двухпозиционный переключатель. Выводами контактов секций служат отрезки посеребренной проволоки, впрессованные двумя рядами в пластмассовый корпус. При нажатии на кнопку ее шток подвижными контактами замыкает средние контакты секций с одним из крайних контактов. Шток возвращает в исходное положение спиральная пружина.

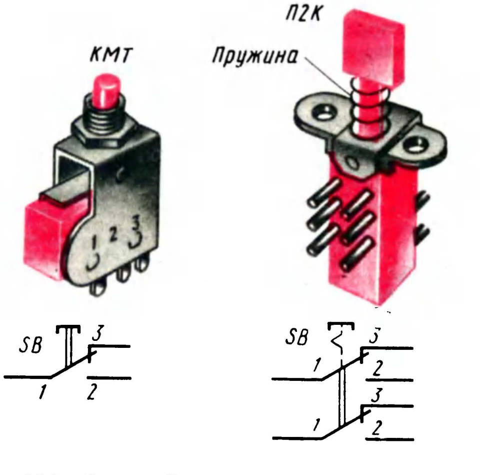


Рис. 136. Внешний вид и схемы кнопочных переключателей КМ1 и П2К

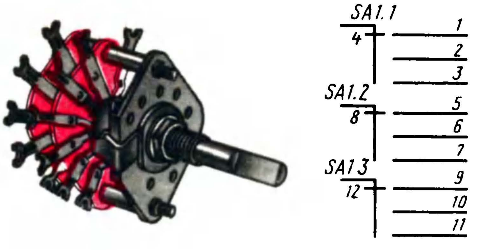


Рис. 137. Двухплатный переключатель галетного типа

По принципу действия конопочные переключатели бывают трех видов: с самовозвратом, т. е. без фиксации кнопки в положении «Включено» (в переключателе КМ1 при замыкании контактов 1 и 2), возвращающие кнопки в исходное положение после окончания нажатия; с независимой фиксацией, когда кнопка фиксируется в положении «Включено» (на схеме П2К замкнуты контакты 1 и 2 обеих секций), а возвращается в исходное положение при повторном нажатии; с зависимой фиксацией, когда кнопка из фиксированного положения «Включено» возвращается в исходное положение каким-то другим приводом, например при нажатии одной из соседних кнопок. Кнопочные переключатели типа КМ могут быть как с самовозвратом, так и с независимой фиксацией, а переключатели П2К еще и с зависимой фиксацией. Переключатели типа П2К, кроме того, могут быть многосекционными — до восьми групп контактов в одном корпусе. Кроме одиночных, промышленность выпускает переключатели П2К, смонтированные в виде блоков на металлической арматуре. Такие блоки ты можешь увидеть в современных магнитофонах, приемниках для переключения диапазонов. Кнопочные переключатели я буду рекомендовать и для некоторых твоих конструкций.

Для коммутации колебательных контуров в двух-трехдиапазонных приемниках, например супергетеродинного типа, или элементов измерительных приборов может понадобиться галетный переключатель (рис. 137). Переключатель такого типа состоит из двух плат, на каждой из которых смонтировано по три группы трехпозиционных переключателей (на рис. 137 приведены схемы контактных групп одной платы). А всего на двух платах имеется шесть таких переключателей, действующих одновременно при вращении оси, позволяющих коммутировать цепи шести направлений.

Определенный интерес для радиотехнического конструирования представляет движковый переключатель 2П6Н (на два положения, шесть направлений), показанный на рис. 138. Такие

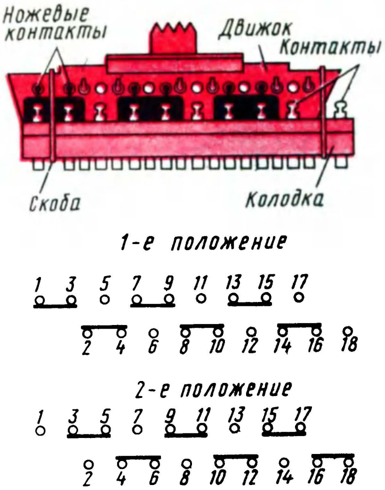


Рис. 138. Движковый переключатель (от приемника «Сокол») и схемы замыкания его контактов

переключатели работают, например, в малогабаритных транзисторных приемниках «Сокол», где они выполняют роль переключателей диапазонов. Переключатель состоит из пластмассовой колодки с 18 пружинными контактами, расположенными в два ряда, и движка с шестью ножевыми контактами — по три контакта с каждой стороны движка. При одном (по рис. 138 — крайнем левом) положении движка ножевые контакты замыкают пружинные контакты 1 и 3, 2 и 4, 7 и 9, 8 и 10, 13 и 15, 14 и 16, а при другом (по рис. 138 — крайнем правом) положении — контакты 3 и 5, 4 и 6, 9 и 11, 10 и 12, 15 и 17, 16 и 18. Таким образом, каждые три рядом стоящих контакта (например, контакты 1, 3 и 5) и относящийся к ним ножевой контакт образуют самостоятельный переключатель, которым нужно коммутировать две цепи. Всего в конструкции шесть таких переключателей — по три с каждой стороны от движка. В крайних положениях перемещение движка ограничивают проволочные скобы.

Чем с технической точки зрения интересен этот переключатель? Тем, что его легко переделать в переключатель на три-четыре положения. Дело в том, что его ножевые контакты, удерживающиеся петлевидными лепестками в отверстиях в движке, можно переставлять, удалять ненужные контакты. Чтобы сделать это, надо снять проволочные скобы, извлечь движок из паза в колодке, удалить или переставить ножевые контакты в положения, соответствующие схемам переключателей конструируемого радиотехнического устройства, и обратно вставить движок в паз колодки. Именно такой доработанный движковый переключатель я рекомендовал тебе использовать в испытателе транзисторов (см. рис. 118) и буду рекомендовать для радиолы (см. далее рис. 224). При переделке переключателя на три-четыре положения роль ограничителя перемещения движка выполняет отверстие в панели, к которой переключатель крепят на стойках, направляющее движение ручки.

К коммутирующим устройствам относятся также разъемы или, как их еще называют, соединители, с помощью которых соединяют участки цепей, узлы и блоки радиоэлектрической аппаратуры, например громкоговоритель с выходом усилителя ЗЧ.

Были ли разъемы в твоих первых конструкциях? Да, были, хотя ты, вероятно, об этом даже не догадывался. Вспомни: гнездо, предназначенное для подключения антенны, и штепсель на конце антенного провода — это одноконтактный разъем; двухгнездная колодка в коллекторной цепи транзистора и вставляемая в нее штепсельная вилка на проводах головных телефонов — это также разъем, но двухконтактный.

Унифицированный пятиконтактный разъем промышленного изготовления показан на рис. 139, *а*. Он состоит из гнездовой части, укрепляемой на панели или шасси радиотехнического устройства, и штепсельной части, вставляемой в гнездовую часть. Чтобы исключить неправильное соединение, в гнездовой части имеется паз, а в штепсельной соответствующий ему выступ. Контакты гнездовой части на схемах изображают, как и гнезда, в виде рогатки, а контакты штепсельной части в виде вилки. Параллельные линии на обеих частях разъема символизируют механические связи между их контактами.

На рис. 139, *б* показана возможная конструкция самодельного многоконтактного разъема. Его гнездовой частью служит восьмиконтактная ламповая панелька без каких-либо

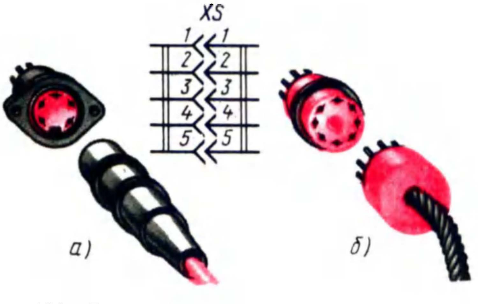


Рис. 139. Разъемы

переделок, а штепсельной частью — пластмассовый октальный цоколь от вышедшей из строя электронной лампы. Из штырьков цоколя, прогревая их паяльником, надо удалить выводные проводники электродов лампы и впаять в них концы отрезков гибких изолированных проводов. После этого внутреннюю часть цоколя можно залить эпоксидным клеем или расплавленным варом. Направляющий ключ на цоколе и соответствующее ему отверстие в центре ламповой панельки исключает ошибочное соединение частей такого разъема.

О некоторых других коммутационных устройствах я еще буду рассказывать по ходу твоих радиотехнических дел.

КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Качество катушки индуктивности колебательного контура принято оценивать ее добротностью — числом, показывающим, во сколько раз индуктивное сопротивление катушки переменному току больше ее сопротивления постоянному току. Сопротивление же катушки переменному току зависит от ее индуктивности и частоты тока, протекающего через нее: чем больше индуктивность катушки и рабочая частота тока, тем больше ее сопротивление переменному току. Следовательно, если частота тока и индуктивность катушки известны (или заданы), то ее добротность можно повышать путем уменьшения ее сопротивления постоянному току, например, наматывать катушку так, чтобы необходимая индуктивность была при меньшей длине провода, увеличивать диаметр самой катушки и провода. Однако наибольший эффект дает введение в катушку ферромагнитного сердечника, так как он в несколько раз увеличивает ее индуктивность, что позволяет уменьшить число витков, а следовательно, и сопротивление катушки постоянному току.

В колебательных контурах приемников радиолюбители обычно используют не готовые, а самодельные катушки самых различных конструкций. С некоторыми из них ты уже знаком по детекторному и однотранзисторному приемникам. Сейчас же я хочу рассказать о других конструкциях катушек применительно к тем приемникам, которые буду рекомендовать тебе строить.

Для намотки катушек кроме проводов ПЭВ-1, ПЭЛ, о которых ты уже знаешь, используют обмоточные провода таких марок: ПБО — Провод в хлопчатоБумажной Одинарной оплетке; ПШО — Провод в Шелковой Одинарной оплетке: ПШД — то же в Двойной оплетке; ПЭЛШО — Провод в Эмалевой Лакостойкой изоляции и Шелковой Одинарной оплетке.

Многие контурные катушки промышленных приемников намотаны многожильным высокочастотным проводом ЛЭШО 7 × 0,07 или ЛЭШО 10 × 0,05 — так называемым литцендратом. Провод ЛЭШО 7 × 0,07 состоит из семи проводов ПЭВ-1 0,07, а ЛЭШО 10 × 0,05 — из десяти проводов ПЭВ-1 0,05, скрученных жгутом, с одинарной или двойной шелковой оплеткой. Аналогичный провод, если надо, можно самому свить с помощью дрели.

Практически для контурных катушек самодельных приемников пригоден провод любой марки, лишь бы надежна была его изоляция, но не слишком толстый, иначе катушка получается громоздкой. Катушки, предназначенные для приема радиовещательных станций средневолнового и длинноволнового диапазонов, наматывают обычно проводом диаметром от 0,1 до 0,3 мм, коротковолновые — проводом 0,8...1 мм, ультракоротковолновые — проводом до 3 мм.

Существует правило, которое надо запомнить: чем короче длина радиоволн, на которые рассчитывается катушка, тем более толстым проводом она должна быть намотана.

Если имеется провод, диаметр которого неизвестен, его можно приближенно определить так: намотай провод виток к витку на карандаш, а затем раздели длину намотки на число витков. Точность определения диаметра провода таким способом будет тем выше, чем больше намотано витков. Если нет провода того диаметра, который рекомендуется, но есть другой близкого к нему диаметра, обычно его можно использовать. Так, вместо провода диаметром 0,18 мм можно использовать провод диаметром 0,15 или 0,2 мм.

В зависимости от размеров каркасов и диапазона принимаемых радиоволн катушки содержат от нескольких витков до нескольких сотен витков. Чем длиннее радиоволны и чем меньше диаметр катушки, тем больше витков она должна содержать. Для детекторных приемников иногда рекомендуют однослойные катушки, намотанные на больших каркасах сравнительно толстым проводом. И это не случайно — в таких катушках меньше потерь высокочастотной энергии. А чем меньше этих потерь, тем лучше работает детекторный приемник.

Катушки транзисторных приемников чаще всего наматывают на каркасах сравнительно небольших размеров и более тонким, чем катушки детекторных приемников, проводом. При этом провод в длинноволновых катушках укладывают в несколько слоев. Это — многослойные катушки. Они компактнее однослойных. Потери высокочастотной энергии в таких катушках несколько больше, чем в катушках бóльших размеров, но они компенсируются введением в катушки высокочастотных сердечников, усилительными свойствами транзисторов. Многослойные катушки контуров многих промышленных приемников наматывают особым способом, носящим наименование «универсаль». При такой намотке, имеющей сложное взаимное пересечение витков, уменьшается внутренняя (междувитковая) емкость катушки, что увеличивает перекрытие контуром диапазона частот. Радиолюбители подобные катушки наматывают на бумажных или картонных шпульках «внавал», умышленно не укладывая провод ровными рядами. При такой намотке внутренняя емкость катушки также относительно невелика.

Для примера расскажу, как изготовить контурную катушку подобной конструкции, которую можно использовать для детекторного или наиболее простого транзисторного приемника (рис. 140). Ее каркасом служит картонная гильза патрона охотничьего ружья 16—12-го калибра (18...20 мм) или трубка такого же диаметра, склеенная из плотной бумаги. Сама же катушка состоит из двух секций: L2 — основной и L1 — подстроечной. Бортики секции L2 — картонные кружки, надетые на каркас и приклеенные к нему. Наружный диаметр кружков 32...35 мм, внутренний — по диаметру каркаса, расстояние между ними 4...5 мм.

Секция L1 намотана на шпульке, которая с небольшим трением может перемещаться по каркасу, но не спадает самопроизвольно. Шпульку для нее делай так. Оберни каркас полоской плотной бумаги шириной 6...8 мм. Поверх полоски насади на каркас картонные кружки, расположив их на расстоянии 2...3 мм друг от друга. Не сдвигая кружков, приклей их к бумажному кольцу. Когда клей высохнет, обрежь осторожно выступающие наружу края бумажного кольца — получится шпулька.

Для секций катушки подойдет провод диаметром 0,2...0,3 мм с любой изоляцией. Секция L1 должна содержать 40...50 витков, намотанных внавал, а секция L2 — 250...260 витков, намотанных таким же способом, но с отводами от 50-го и 150-го витков. Отводы нужны для грубой настройки контура, в котором катушки будут работать. Выводы и отводы выпускай наружу через проколы в картонных бортиках. Конец секции L1 соедини с началом секции L2.

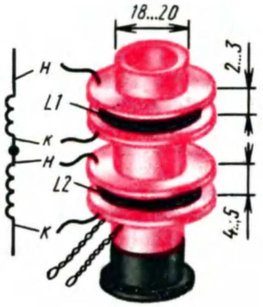


Рис. 140. Контурная катушка с подстроечной секцией

Индуктивность такой катушки зависит от взаимного расположения ее секций. Если витки обеих секций направлены в одну сторону и секция L1 вплотную придвинута к секции L2, индуктивность катушки наибольшая. В этом случае контур будет настроен на наименьшую частоту (наибольшую длину волны). По мере отдаления секции L1 от L2 общая индуктивность катушки станет уменьшаться, а приемник будет перестраиваться на бóльшую частоту (более короткую волну). Секцию L1 можно снять с каркаса, перевернуть и надеть на каркас другой стороной. Теперь витки секций катушки будут направлены в разные стороны, и если сближать их, то индуктивность катушки будет плавно уменьшаться, а контур настраиваться на станции, работающие на волнах меньшей длины. Таким образом, эта конструкция представляет собой простейший вариометр — катушку с переменной индуктивностью. Грубая настройка контура осуществляется переключением отводов секций L2, а точная — изменением расстояния и расположения витков секции L1 относительно витков секции L2. Настроив контур на радиостанцию, можно шпильку секции L1 приклеить к каркасу — получится приемник с фиксированной настройкой на одну радиостанцию.

Катушки подобных конструкций хороши тем, что они просты. Однако предпочтительнее катушки с высокочастотными сердечниками. Сердечник, повышающий добротность катушки и тем самым снижающий потери в ней, позволяет значительно уменьшить число витков и размеры катушки. А если сердечник подстроечный, т. е. может перемещаться внутри катушки, то он, кроме того, позволяет в некоторых пределах изменять индуктивность катушки и таким образом настраивать контур на нужную частоту.

Самые распространенные магнитные высокочастотные сердечники — ферритовые и карбонильные. Их выполняют в виде стержней, колец, чашек. Со стержневым ферритовым сердечником ты уже имел дело, когда строил свой первый приемник.

Одна из возможных конструкций самодельной секционированной катушки с подстроечным сердечником диаметром 9 мм показана на рис. 141. Увеличение индуктивности катушки достигается ввертыванием сердечника в ее каркас, а уменьшение — вывертыванием его. Каркас для такой катушки склей из полоски плотной бумаги шириной 40 мм на круглой болванке, стеклянной трубке или пробирке диаметром 9,5...10 мм. На расстоянии 6...7 мм

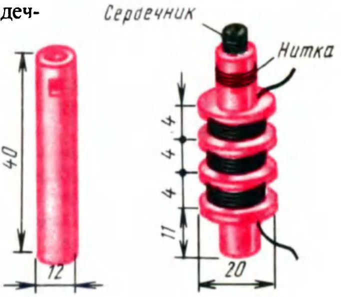


Рис. 141. Самодельная катушка с подстроечным сердечником

от верхнего края готового и хорошо высушенного каркаса острым ножом прорежь в нем с двух противоположных сторон прямоугольные отверстия. В местах вырезов обмотай каркас в один слой толстой ниткой; ее витки будут выполнять роль нарезки для ввертывания сердечника. Щечки катушки вырежь из тонкого гетинакса, текстолита или плотного картона толщиной 0,3...0,5 мм. Насади их на каркас и приклей к нему.

Катушку наматывай внавал проводом ПЭВ-1 0,12...0,18. Если катушка средневолновая, то она должна содержать всего 135 витков (три секции по 45 витков), а длинноволновая — 450 витков (три секции по 150 витков). Сначала между двумя верхними щечками намотай первую секцию, переведи провод на участок между средними щечками и намотай вторую секцию, а потом между нижними щечками намотай третью секцию. Выводы катушки пропускай через проколы в щечках.

Крепить такую катушку на панели приемника можно с помощью фанерного кольца, приклеенного к панели, или вклейкой нижнего конца каркаса в отверстие в панели.

Катушку колебательного контура можно намотать на бумажной гильзе и насадить ее на отрезок ферритового стержня марки 400НН или 600НН диаметром 8 и длиной 25...30 мм (рис. 142). Для приема радиостанций средневолнового диапазона она должна содержать 70...80 витков провода ПЭВ-1 0,12...0,2, намотанных в один ряд, а для радиостанции длинноволнового диапазона — 225...250 витков такого же провода, но намотанных четырьмя-пятью секциями по 45...50 витков в каждой секции. Наибольшая индуктивность такой катушки будет тогда, когда она находится на середине ферритового стержня. По мере перемещения к одному из концов стержня индуктивность катушки уменьшается. Таким образом, перемещая катушку по стержню, можно подстраивать контур на необходимую частоту наиболее длинноволнового участка диапазона.

Как в промышленных, так и в любительских приемниках часто используются катушки, намотанные на унифицированных (стандартных) пластмассовых секционированных каркасах с ферритовыми кольцами и стержневыми подстроечными сердечниками (рис. 143, *а*). Катушка, намотанная на таком каркасе, оказывается между двумя ферритовыми кольцами, увеличивающими ее индуктивность. Стержневой сердечник, скрепленный с резьбовым цилиндриком, можно ввертывать отверткой на разную глубину внутрь каркаса и тем самым подстраивать индуктивность катушки.

Аналогичный самодельный каркас, который может быть использован для катушек различного назначения, показан на рис. 143, *б*. Для изготовления его нужны два кольца из феррита марки 600НН с внешним диаметром 8...9 и внутренним 3...3,5 мм и стержневой подстроечный сердечник той же марки диаметром 2,7 и длиной 25 мм. Основой каркаса служит бумажная гильза длиной 12 мм и диаметром, равным внутреннему диаметру колец. Кольца приклей к ней клеем БФ-2 или «Момент» на расстоянии 6 мм. Выступающий снизу конец гильзы будешь вставлять с клеем в отверстие в монтажной плате. Подстроечный сердечник удерживается внутри каркаса бумажной или матерчатой прокладкой.

Число витков и провод для катушки, намотанной на такой каркас, зависят от ее назначения.

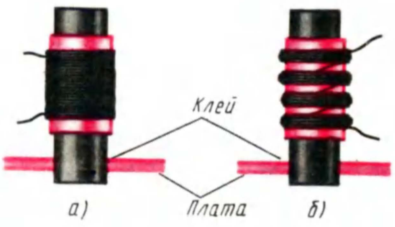


Рис. 142. Средневолновая (*а*) и длинноволновая (*б*) катушки с ферритовыми стержнями

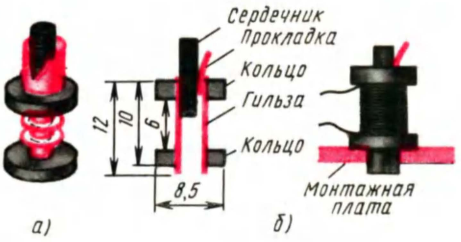


Рис. 143. Каркасы с ферритовыми кольцами и подстроечными стержневыми сердечниками

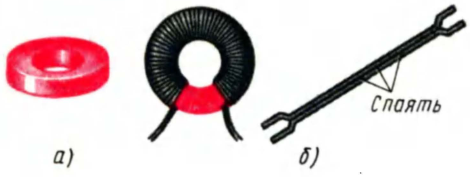


Рис. 144. Ферритовое кольцо (*а*), высокочастотный дроссель и проволочный челнок (*б*) для намотки провода

Высокочастотные дроссели, иногда используемые в качестве нагрузок транзисторов радиочастотных трактов приемников, это тоже катушки индуктивности. С целью уменьшения общих габаритных размеров при необходимой индуктивности для таких катушек используют кольца из феррита марки 600НН или 400НН с внутренним диаметром 6...8 мм (рис. 144, *а*). Чтобы изготовить высокочастотный дроссель, непосредственно на тело кольца надо намотать 180...200 витков провода ПЭВ-1 0,12...0,18 — практически до заполнения его внутреннего отверстия. Более толстый провод использовать не следует, так как на кольце может не уместиться необходимое число витков. Выводы и витки обмотки скрепляют каплями клея БФ-2.

Для удобства намотки провода на кольцо сделай челнок (рис. 144, *б*) из двух отрезков неизолированной медной проволоки толщиной 0,8...1 и длиной по 60...70 мм. Спаяй их в нескольких местах. Весь челнок и особенно концы его вилок зачисть мелкой наждачной бумагой, чтобы не портить изоляцию обмоточного провода. Намотай на челнок провод такой длины, чтобы его хватило на всю катушку. Среднюю длину одного витка провода ты можешь измерить. Она составляет 10...12 мм. Значит, для дросселя, содержащего 200 витков, на челнок, с учетом некоторого запаса, надо намотать около 2,5 м провода. Пропуская челнок в окно ферритового кольца, витки укладывай плотно и следи, чтобы на проводе не было петель и не портилась его изоляция. Перед намоткой провода углы кольца сгладь наждачной бумагой.

Аналогично наматывают и высокочастотные трансформаторы, используемые, например, для межкаскадной связи в радиочастотных трактах приемников прямого усиления.

В дальнейшем, говоря о конкретных контурных катушках, высокочастотных дросселях или трансформаторах, я буду указывать ориентировочные числа витков в их обмотках и ссылаться на катушки и каркасы, о которых рассказал здесь. Но, разумеется, возможны и другие конструкции катушек.

МАГНИТНАЯ АНТЕННА

Внутренняя магнитная антенна — неотъемлемая часть всех портативных транзисторных радиовещательных приемников, в том числе и называемых «карманными». Только самые простые любительские приемники прямого усиления не имеют магнитных антенн. У современного портативного или стационарного приемника может быть гнездо или зажим для подключения внешней антенны, которая увеличивает его «дальнобойность», однако основной все же является встроенная в его корпус магнитная антенна.

Магнитные антенны имеют небольшие размеры и хорошо выраженные направленные свойства, малочувствительны к электрическим помехам, что весьма существенно для городов и районов с развитым промышленным производством, где уровень таких помех особенно значительный.

Устройство и условное графическое обозначение магнитной антенны на схемах показаны на рис. 145. Ее основные элементы — катушка индуктивности L, намотанная на каркасе, и сердечник из высокочастотного ферромагнитного материала, обладающего большой магнитной проницаемостью. Называют же ее магнитной потому, что такая антенна реагирует на магнитную составляющую радиоволн.

Простейшей магнитной антенной является так называемая рамочная антенна — катушка индуктивности, состоящая из одного или нескольких витков провода и имеющая форму рамки. Рамочные антенны широко применяют в приемниках-пеленгаторах, используемых, например, в радиоспорте для «охоты на лис» (о чем у нас пойдет разговор в специальной беседе). Магнитное поле радиоволны пронизывает плоскость такой антенны и индуцирует в ней модулированные колебания радиочастоты, которые в приемнике могут быть усилены, продетектированы, а затем преобразованы в звук.

Значение электродвижущей силы (ЭДС), наведенной в рамочной антенне магнитным полем, зависит от ее положения в пространстве и максимально тогда, когда плоскость ее витков обращена в сторону радиостанции. Если рамку поворачивать вокруг вертикальной оси,

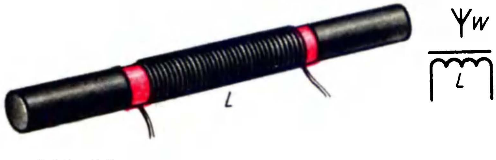


Рис. 145. Магнитная антенна

то за один полный оборот наведенная в ней ЭДС дважды будет достигать наибольших значений (максимум) и дважды убывать почти до нуля (минимум).

При введении внутрь витков рамочной антенны ферромагнитного сердечника, например ферритового, ЭДС, возникающая в ней под действием поля, резко увеличивается. Объясняется это тем, что сердечник концентрирует силовые линии поля, благодаря чему рамка пронизывается магнитным потоком бо́льшей плотности, чем до введения в нее сердечника. Величину, показывающую, во сколько раз магнитное поле в сердечнике превышает значение внешнего поля, называют магнитной проницаемостью сердечника. Чем она больше, тем лучше приемные свойства магнитной антенны. Численное значение этой важнейшей характеристики ферритов, используемых для магнитных антенн, входит в условные обозначения их марок.

При выборе марки ферритового сердечника для магнитной антенны необходимо учитывать, что с увеличением частоты тока в катушке потери в ферритах разных марок неодинаковы. Так, например, в феррите марки 2000НН потери увеличиваются уже на частотах 100...150 кГц, а в феррите марки 100НН — на частотах в несколько мегагерц. Практически считается, что для магнитных антенн диапазонов ДВ и СВ наиболее целесообразно применять ферриты с магнитной проницаемостью от 400 до 1000, т. е. стержни из ферритов марок 400НН, 600НН, 1000НН.

С увеличением длины ферритового стержня эффективность магнитной антенны повышается. Практически же она обычно ограничивается размерами корпуса приемника. Что же касается формы поперечного сечения стержня, то она значительно меньше влияет на приемные свойства магнитной антенны. Ее обычно выбирают исходя из чисто конструктивных соображений. В малогабаритных приемниках, например, с целью наиболее рационального использования объема корпусов часто применяют плоские стержни прямоугольного сечения, свойства которых равнозначны свойствам круглых стержней с такой же площадью сечения.

В транзисторных приемниках применяют главным образом настраиваемые магнитные антенны, т. е. антенны, катушки которых являются составными элементами входных колебательных контуров. Индуктивность катушки магнитной антенны максимальна, когда она находится на середине ферритового стержня и уменьшается (примерно на 20%) по мере перемещения ее к одному из концов стержня. Это свойство катушки радиолюбители используют для подбора ее индуктивности при налаживании приемников. Но располагать ее ближе 10 мм от края стержня не следует, иначе добротность катушки резко ухудшится.

Наматывать катушку непосредственно на ферритовом стержне не рекомендуется, чтобы не увеличивать ее собственную емкость из-за так называемой диэлектрической постоянной ферромагнитного сердечника. Способ намотки выбирают исходя из диапазона рабочих частот, числа витков и диаметра используемого провода, размеров ферритового стержня. Наилучшими приемными свойствами магнитная антенна обладает при однослойной намотке катушки с принудительным шагом. При шаге намотки 1,5...2 мм марка провода практически не влияет на добротность катушки. Но такой способ намотки приемлем только для катушки с небольшим числом витков, например для катушек диапазона КВ. На практике чаще применяют сплошную рядовую или многослойную намотку, хотя в этом случае марка провода несколько ухудшает добротность катушки магнитной антенны. Для катушек диапазона СВ наилучшим считается многожильный высокочастотный провод марки ЛЭШ07 × 0,7 или ЛЭШ010 × 0,05, увеличивающий добротность катушки в 1,5—2 раза по сравнению с намоткой ее проводом марки ПЭВ-1 или ПЭВ-2.

Каркасы катушек диапазонов ДВ и СВ можно склеивать из пресшпана, кабельной или другой плотной бумаги клеем БФ-2, «Момент». Но толщина стенок каркасов не должна быть больше 0,3...0,5 мм. Катушка магнитной антенны может состоять из двух неравных секций: основной и подстроечной, намотанных на отдельных каркасах.

Настраиваемый колебательный контур, состоящий из катушки магнитной антенны и конденсатора настройки, может быть подключен полностью ко входу приемника только в том случае, если в первом его каскаде работает полевой транзистор. Такое условие объясняется тем, что входное сопротивление каскада на полевом транзисторе составляет мегаомы, а сопротивление контура на резонансной частоте — сотни килоом, т. е. в несколько раз меньше. В этом случае входное сопротивление такого каскада практически не шунтирует контур магнитной антенны и его добротность остается достаточно высокой.

Иначе обстоит дело, когда в первом усилительном каскаде приемника работает биполярный транзистор, включенный по схеме ОЭ. Входное сопротивление такого каскада не превышает нескольких сотен ом. И если его подключить ко всему контуру, то в результате сильного шунтирующего действия входного сопротивления транзистора добротность контура и его приемные свойства резко ухудшатся. Чтобы предотвратить ухудшение параметров контура магнитной антенны, вход такого ка-

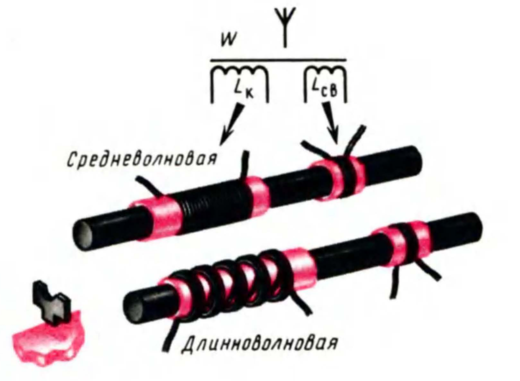


Рис. 146. Контурная катушка магнитной антенны с катушкой связи

скада приемника подключают не ко всему контуру, а к небольшой части его, например к отводу, сделанному от нескольких витков контурной катушки. Чаще же рядом с катушкой магнитной антенны, на ее ферритовом стержне, помещают катушку связи, намотанную на самостоятельном каркасе, которую и подключают ко входу первого каскада приемника (рис. 146). При этом контурная катушка $L_{к}$ и катушка связи $L_{св}$ образуют трансформатор, передающий энергию принятого высокочастотного сигнала из контура на вход каскада. Число витков катушки связи может составлять 5...10% числа витков контурной катушки. При такой связи настраиваемого контура магнитной антенны с первым каскадом приемника на биполярном транзисторе напряжение, снимаемое с контура, уменьшается в 10—20 раз, а шунтирующее действие входного сопротивления транзистора ослабляется в 100—400 раз, что сохраняет хорошие приемные свойства магнитной антенны.

Теперь — несколько практических рекомендаций. Если для магнитной антенны транзисторного приемника будешь использовать стержень из феррита 600НН или 400НН диаметром 8 и длиной 120...140 мм, а для настройки малогабаритный коденсатор с максимальной емкостью 360...380 пФ, катушка диапазона СВ может содержать 60...70 витков провода ЛЭШ07×0,07, ЛЭШ10×0,05 или ПЭЛШО 0,1...0,15, намотанных в один слой, а катушка связи — 5...7 витков провода ПЭЛШО 0,1...0,15. Катушка диапазона ДВ может иметь 200...220 витков провода ПЭЛШО 0,1, а ее катушка связи 10...15 витков такого же провода. Для уменьшения собственной емкости контурную катушку этого диапазона желательно наматывать внавал (без соблюдения порядка укладки провода) четырьмя-пятью секциями по равному числу витков в каждой секции. Если, однако, проводов марок ЛЭШО и ПЭЛШО нет, катушки магнитных антенн и соответствующие им катушки связи можно наматывать проводом ПЭВ-1 или ПЭВ-2 такого же диаметра. Но в этом случае возрастет собственная емкость катушки контура магнитной антенны, что несколько уменьшит перекрываемый им диапазон радиоволн.

Высокочастотный провод, подобный проводу марки ЛЭШО, можешь изготовить сам. Для этого сложи вместе 7—10 отрезков провода ПЭВ-1 или ПЭВ-2 диаметром 0,05...0,1 мм и скрути их жгутом с помощью ручной дрели. Концы проводов такого жгута, используемого для намотки катушки, должны быть очищены от изоляции, облужены и надежно спаяны вместе.

Длина стержня магнитной антенны может быть меньше — примерно 90...100 мм. В таком случае число витков катушки надо увеличить на 20...30%. Вообще же можно поступить так, как это обычно делают радиолюбители: наматывают заведомо большее число витков, а при налаживании приемника постепенно удаляют лишние витки, добиваясь необходимого диапазона частот, перекрываемого контуром магнитной антенны.

Размещая магнитную антенну в корпусе приемника, помни, что находящиеся поблизости от нее стальные детали будут ухудшать добротность катушки. Стальной корпус динамической головки, например, расположенный рядом с магнитной антенной или против торца ее стержня снижает добротность катушки в 8—12 раз. Придерживайся правила: никакие стальные детали не располагай ближе 25...30 мм от контурной катушки магнитной антенны.

И еще один существенный совет: не применяй для крепления стержня магнитной антенны металлические держатели, создающие вокруг него короткозамкнутые витки.

МАКЕТНАЯ ПАНЕЛЬ

Самое интересное в творчестве радиолюбителя — это, пожалуй, эксперименты, налаживание, поиск наилучшего технического решения конструируемого усилителя, приемника или иного устройства. Пока конструкция простая, макетировать ее можно непосредственно на ее же монтажной плате. Но при усложнении конструкции число деталей, работающих в ней, увеличивается и ее монтажная плата становится уже неподходящей базой для экспериментов. Нужна более удобная панель, на которой можно предварительно смонтировать, подобрать и проверить в работе детали, установить режимы транзисторов, опробовать возможные дополнения и изменения, а затем перенести и смонтировать детали на постоянной плате. Именно так обычно рождаются радиолюбительские конструкции.

Возможная конструкция макетной панели, которую ты можешь сделать и пользоваться ею в дальнейшем, показана на рис. 147. Это плоская панель с рядами контактных лепестков для монтажа радиодеталей. В верхней части панели справа находится выключатель питания SA, слева — конденсатор переменной емкости C, а между ними три переменных резистора разных номиналов. Монтажные лепестки возле конденсатора и резисторов являются выводами этих деталей. Вырезы в верхней кромке панели образуют опоры для крепления укороченного или длинного ферритового стержня контурной катушки или магнитной антенны. Сзади у панели имеются кронштейны из полосок листового металла, удерживающие ее в наклонном положении. Батарею питания или выпрямитель сетевого блока питания подключают (в зависимости от полярности) к лепестку «$U_{и.п}$» и проводнику, соединяющему нижние лепестки.

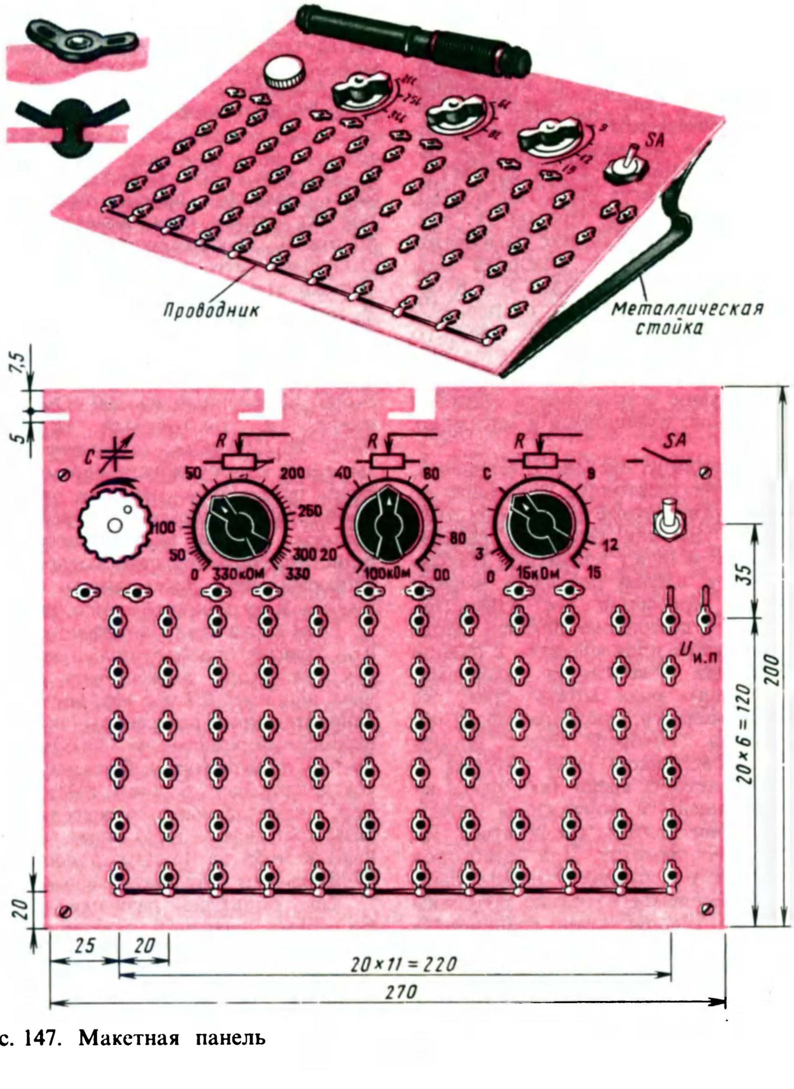

SA
Проводник
Металлическая стойка
7,5
5
C
R
R
R
SA
50
200
250
100
50
300
0
330кОм
330
40
60
80
20
100кОм
00
C
9
12
3
0
15кОм
15
$U_{и.п}$
35
200
20×6=120
20
25
20
20×11=220
270

Рис. 147. Макетная панель

Конденсатор переменной емкости включают во входной контур макетируемого приемника При этом ферритовый стержень магнитной антенны контурной катушки прикрепляют к панели с помощью резиновых колец или ниток. Переменные резисторы служат для подбора сопротивлений в различных цепях, например в базовых, определяющих режимы работы транзисторов. Подобранное сопротивление узнают по шкале переменного резистора.

На макетной панели можно смакетировать и наладить практически любой усилитель или приемник, провести многие радиотехнические опыты и эксперименты.

Сначала заготовь все необходимые детали и с учетом их размеров и конструктивных особенностей начерти будущую панель в натуральную величину. Конденсатор переменной емкости может быть как с твердым, так и с воздушным диэлектриком, желательно с максимальной емкостью не менее 350 пФ. Выключатель питания — тумблер ТВ2-1 или МТ-1. Переменные резисторы могут быть типов СП-I, ВК, СПО-2, но обязательно группы А, т. е. резисторы, сопротивление которых изменяется прямо пропорционально углу поворота оси. Резисторы с характеристиками видов Б и В менее желательны. Номинал правого (по рис. 147) резистора может быть 10...20 кОм, среднего 75...150 кОм, левого 300...470 кОм. Контактные лепестки можно вырезать из жести или листовой меди, но лучше использовать лепестки от монтажных планок, имеющихся в магазинах радиотоваров.

Саму панель выпили из листового гетинакса, стеклотекстолита или текстолита толщиной не менее 1,5...2 мм. Органическое стекло для этой цели непригодно, так как оно при нагреве контактов паяльником будет плавиться. Панель размеїь по чертежу, сделай лобзиком вырезы в верхней части, просверли все отверстия, а затем приступай к креплению деталей. Монтажные лепестки лучше приклепывать к панели медными заклепками с круглыми головками. К лепесткам нижнего ряда можно сразу же припаять отрезок медного, предварительно облуженного провода, который будет общим «заземленным» проводником цепи питания.

Переменные резисторы крепи так, чтобы их выводы были обращены к монтажным лепесткам, с которыми они должны соединяться. Их шкалы градуируй по омметру. Для резисторов группы А отметки на шкалах должны быть в основном равномерными и только по краям несколько сжатыми. Шкалы можно гравировать непосредственно на панели или начертить на плотной бумаге и приклеить к панели.

Остается приделать кронштейны — и макетная панель готова.

Как пользоваться макетной панелью?

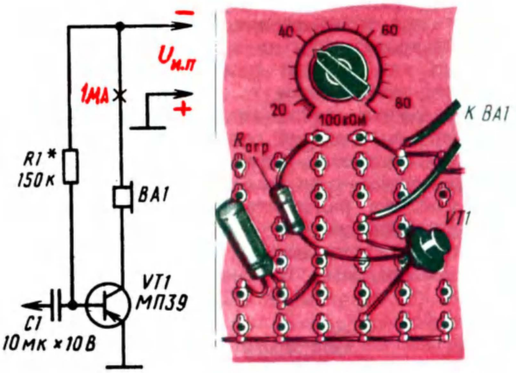


Рис. 148. Простейший усилитель, смонтированный на макетной панели

На рис. 148 в качестве примера показана часть макетной панели, на которой смонтированы детали простейшего усилителя, схема которого изображена на том же рисунке. Допустим, что требуется установить коллекторный ток транзистора в пределах 0,8...1 мА. В коллекторную цепь транзистора последовательно с телефонами ВА1 включаем миллиамперметр, а в цепь базы вместо резистора R1 — два последовательно соединенных резистора: переменный на 100 кОм, имеющийся на плате, и постоянный $R_{огр}$ сопротивлением 80...100 кОм, ограничивающий ток базы, когда сопротивление переменного резистора будет равно нулю. Вращая ручку переменного резистора, устанавливаем требуемый ток коллектора. В цепь базы должен быть включен резистор, сопротивление которого равно сумме сопротивлений переменного (узнаем по его шкале) и ограничительного резисторов.

Если статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ транзистора большой, а начальный ток покоя коллектора должен быть сравнительно малым, например 0,3...0,5 мА, последовательно с ограничительным резистором придется включать переменный резистор на 330 кОм. И наоборот, если $h_{21э}$ транзистора небольшой, а коллекторный ток должен быть 6...8 мА, как это бывает, например, в однотактных выходных каскадах, то в цепь базы транзистора надо будет включить переменный резитор на 15 кОм, а сопротивление ограничительного резистора уменьшить до 5...6 кОм.

Так, пользуясь разными переменными резисторами макетной панели, а если надо, то одновременно двумя, можно быстро поставить транзисторы конструируемого устройства в заданные режимы работы.

Какие дополнения можно внести в такую макетную панель? На ней, например, можно укрепить панельки для включения выводов транзисторов, малогабаритный миллиамперметр для измерения коллекторных токов транзисторов. Ограничительные резисторы можно впаять между выводами переменных резисторов и относящимися к ним монтажными лепестками на панели, а шкалы сопротивлений переменных резисторов градуировать с учетом этих дополнений. Впрочем, практика пользования макетной панелью сама подскажет, как ее можно усовершенствовать.

ПЕЧАТНЫЙ МОНТАЖ

Сейчас промышленную радиоаппаратуру монтируют так называемым печатным способом. Печатный монтаж вошел и в практику любительского радиоконструирования. При таком способе монтажа роль соединительных токонесущих проводников выполняют не отрезки монтажного провода, а как бы отпечатанные на плате площадки и полоски медной фольги. Таким способом изготовлены монтажные платы некоторых конструкций, описываемых в этой книге. Открой, например, с. 230. Там, на рис. 244, ты увидишь монтажную плату супергетеродинного приемника, выполненную печатным способом. Только два соединения, выделенные штриховыми линиями, сделаны отрезками изолированного монтажного провода. Все остальные токонесущие проводники — фольга, к которой припаяны выводы деталей, находящихся с другой стороны платы.

Для печатных плат используют фольгированный гетинакс, стеклотекстолит или другие листовые пластмассы с наклеенной на них медной фольгой толщиной 0,05 мм.

Технология изготовления печатных плат в любительских условиях такова. Сначала на бумаге размещают и чертят в натуральную величину или в увеличенном масштабе все детали устройства и соединения между ними. При этом стремятся к тому, чтобы будущие соединительные проводники были возможно короткими и не пересекались. Одновременно вносят возможные изменения рисунка монтажной платы с учетом имеющихся деталей. Так, например, если вместо рекомендуемых оксидных конденсаторов К50-6 используются конденсаторы К50-3, то расстояние между отверстиями для их выводов увеличивают до 25...35 мм.

Когда монтажная схема начерчена, из фольгированного материала выпиливают пластинку нужных размеров и с помощью копировальной бумаги или по сетке линий с шагом 2,5...5 мм переводят на ее фольгу рисунок всех печатных проводников. В местах, где должны быть отверстия для выводов деталей, делают кернером или шилом углубления. Далее все участки фольги, которые на плате должны остаться, аккуратно закрашивают с помощью стеклянного рейсфедера нитролаком, цапонлаком, асфальтобитумным лаком или клеем БФ-2, но слегка подкрашенным, чтобы на фольге хорошо был виден рисунок будущих токонесущих проводников. Неровности линий или подтеки устраняют острым кончиком ножа, скальпелем или лезвием безопасной бритвы.

Когда краска хорошо высохнет, заготовку платы помещают для травления в раствор хлорного железа плотностью 1,3, налитый в плоскую пластмассовую или фарфоровую ванночку. Для раствора такой плотности 150 г хлорного железа надо растворить в 200 см^3 воды. Во время травления ванночку нужно все время покачивать. В растворе комнатной температуры травление фольги длится примерно 1 ч, а в подогретом до темературы 40...50° С — около 15 мин.

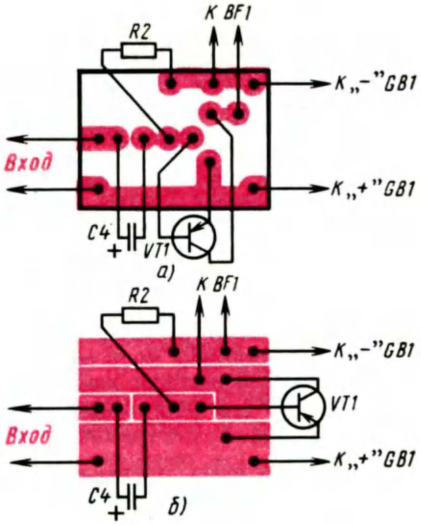
Протравленную плату тщательно промывают попеременно холодной и горячей водой, сушат, а затем в намеченных ранее местах просверливают отверстия для выводов деталей. Перед монтажом плату шлифуют мелкой шкуркой, промывают растворителем или ацетоном, чтобы удалить остатки кислотоупорной краски, и сразу покрывают канифольным лаком (15%-ный раствор канифоли в спирте или ацетоне), предохраняющим печатные проводники от окисления.

При монтаже выводы деталей пропускают через отверстия в плате и сразу припаивают к печатным проводникам.

Для примера на рис. 149, *а* показаны печатная плата и схема соединения на ней деталей усилителя ЗЧ к детекторному приемнику, смонтированному по знакомой тебе схеме, приведенной на рис. 91 (справа от штриховой линии). Вид на плату показан со стороны печатных проводников, а детали находятся с другой стороны платы (см. рис. 91). Теперь, если захочешь, ты можешь смонтировать его на печатной плате.

А как быть, если нет хлорного железа? В таком случае можно плату сделать под печатный монтаж, пользуясь ножом-резаком, о котором я уже говорил тебе в этой беседе. Монтажную плату такого же однотранзисторного усилителя ты видишь на рис. 149, *б*. Компоновка деталей на ней такая же, как на плате рис. 149, *а*, но токонесущие проводники образуют не фигурные, а прямоугольные полоски фольги, отделенные одна от другой прорезями в фольге.

При печатном монтаже такие детали, как резисторы, транзисторы, конденсаторы, должны монтироваться на плате жестко; они должны быть плотно прижаты к плате или их проволочные выводы должны быть предварительно


R2
К BF1
К „–"GB1
Вход
К „+"GB1
C4
+
VT1
а)
R2
К BF1
К „–"GB1
VT1
Вход
К „+"GB1
C4
+
б)

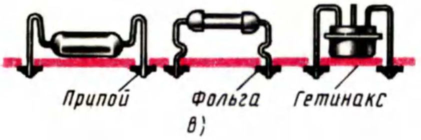

Припой
Фольга
Гетинакс
в)

Рис. 149. Печатный монтаж

отформованы — изогнуты наподобие ступенек, исключающих продольное смещение. Некоторые приемы монтажа таких деталей показаны на рис. 149, *в*. Это необходимо для того, чтобы при нажатии на деталь сверху тонкие проводники из фольги не могли отслаиваться от платы и разрываться.

Монтаж некоторых конструкций, о которых я еще буду рассказывать, выполнен печатным методом. Но это не значит, что только так должно быть. Монтаж тех же конструкций может быть проволочным.

ВЕРСТАЧНАЯ ДОСКА

В твоей мастерской желательно иметь еще и верстачную доску, например такую, что изображена на рис. 150. Ее можно положить на стол или широкую скамейку, и она заменит столярный верстак; закончив работу, ты можешь снять ее и убрать. Впрочем, ее можно укрепить на столбиках в чулане или сарайчике, если ты там собираешься оборудовать подсобную мастерскую.

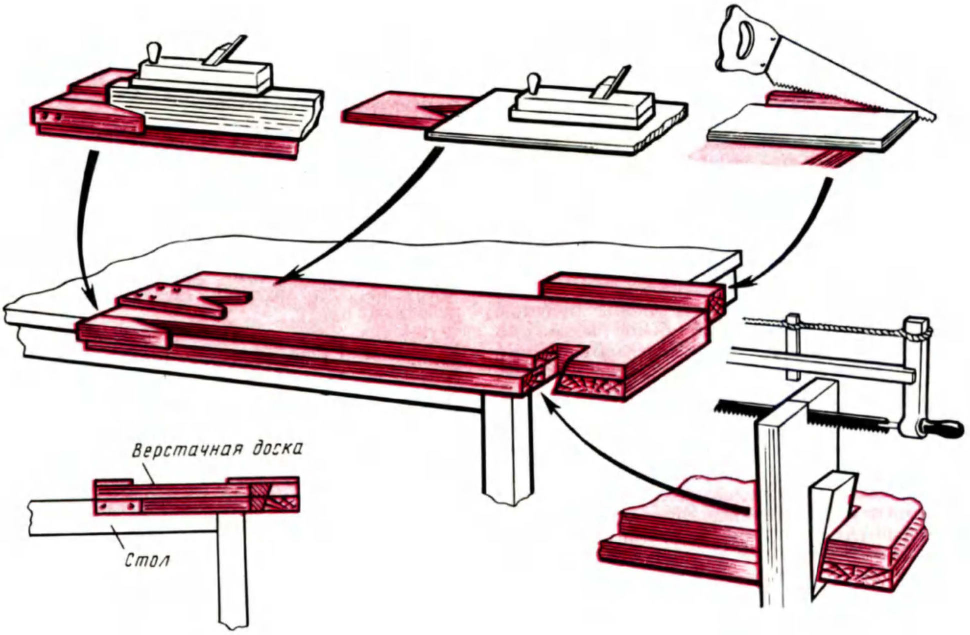

Верстачная доска
Стол

Рис. 150. Верстачная доска

Подбери сухую, без сучков, доску длиной 1,5 м, шириной 250...300 и толщиной 40...50 мм и хорошенько обстругай ее, чтобы она стала со всех сторон ровной и гладкой. Чем толще будет доска, тем прочнее и устойчивее получится рабочий верстак. Сырая доска не годится, так как, высыхая, она будет коробиться и трескаться. Снизу к доске, вдоль ее ребра, прибей деревянный брусок, выпустив его на 15...20 мм из-под доски. К правому концу, тоже снизу, прибей отрезок широкой доски, но так, чтобы волокна ее располагались не вдоль, а поперек основной доски. Прибитые снизу брусок и отрезок доски будут удерживать верстачную доску на краю стола.

На левом конце доски укрепи «ласточкин хвост» — упор для строгания брусков и досок. Он представляет собой дощечку длиной примерно 200, шириной 150 и толщиной 10...12 мм с клинообразным вырезом. Укрепляя этот упор, шляпки гвоздей или шурупов утопи поглубже, чтобы не повредить о них железку рубанка или фуганка.

Рядом с ласточкиным хвостом привинти или прибей к верстачной доске еще один упор — для строгания ребер досок. Этот упор — брусок твердой породы древесины, например бука, дуба, спиленный наискось. Между ним и ребром верстачной доски образуется клинообразный промежуток, в который будешь вставлять конец обрабатываемой доски. Снизу доска будет удерживаться краем бруска, выступающим из-под верстачной доски.

На другом конце верстачной доски, отступив от края на 120...150 мм, сделай вырез. В нем ты будешь закреплять клином доску, когда потребуется распилить ее вдоль, прострогать ее торец или запилить шипы. В этот вырез можно также зажать две дощечки, когда их надо склеить. Со стороны, противоположной вырезу, прибей отрезок бруска или толстой доски. Это упор, к которому ты будешь прижимать брусок, дощечку или фанеру, чтобы отпилить конец, свисающий с верстачной доски.

Верстачную доску ты можешь использовать и для слесарных работ, если на это время будешь привертывать к ней настольные тиски и отрезок углового железа.

* * *

Продолжительной оказалась наша беседа о твоей мастерской. Но и она не охватила всех советов, связанных с технологией изготовления разных деталей, практикой монтажа аппаратуры, приборов. Постараюсь восполнить упущенное применительно к конкретным конструкциям.

БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ

ЗНАКОМСТВО С МИКРОСХЕМАМИ

Микросхемы, появившиеся в шестидесятых годах, сегодня оказывают решающее влияние на техническое перевооружение во всех областях радиоэлектроники, науки, производства, нашего быта. Да, юный друг, микросхемы все более широко используются в радиовещательной, телевизионной, звукозаписывающей и воспроизводящей аппаратуре, в телефонии, устройствах автоматического управления производственными процессами, в аппаратуре сбора, хранения и переработки различной информации. Для нас уже стали привычными кассовые аппараты в универсамах, быстро и точно подсчитывающие стоимость сделанных покупок, весы с цифровым представлением результатов взвешивания продуктов, автоматизированные системы организации продажи железнодорожных билетов, электронные часы и многое другое, с чем мы сейчас постоянно сталкиваемся.

С термином «микросхемы», ты, конечно, знаком. А что это такое?

ЧТО ТАКОЕ МИКРОСХЕМА

Это миниатюрный электронный блок, не превышающий по размерам шоколадную дольку, содержащий в своем объеме взаимосвязанные транзисторы, диоды, резисторы и другие активные и пассивные элементы, общее число которых может достигать нескольких десятков и даже сотен тысяч. В зависимости от этого числа принято различать микросхемы малой степени интеграции, микросхемы средней степени интеграции, большие и сверхбольшие интегральные микросхемы. В микросхеме малой степени интеграции в зависимости от ее функционального назначения может быть до 30 активных и пассивных элементов, а в сверхбольшой микросхеме — до 100 тысяч и более. И все это на одном кристалле полупроводника.

Одна микросхема может выполнять функцию узла или целого блока радиоприемника, телевизора, измерительного прибора, микрокалькулятора, электронной вычислительной машины (ЭВМ). Механизм наручных электронных часов, например, показывающих текущее время с точностью до долей секунды, дни недели и месяцы, работающий еще и как секундомер, и как будильник, состоит всего лишь из одной специально разработанной большой интегральной микросхемы.

По технологии изготовления различают микросхемы гибридные и полупроводниковые. В гибридных микросхемах токонесущие проводники, резисторы, обкладки конденсаторов представляют собой пленки определенных размеров и электрических свойств, нанесенные на диэлектрическую подложку, на которую устанавливают диоды, транзисторы (обычно кремниевые, структуры n-p-n), но без корпусов. У полупроводниковых микросхем все активные и пассивные элементы выполнены в объеме и на поверхности кристалла полупроводника.

Первый элемент в системе обозначения микросхем — буква К, что значит широкого применения. За ней следует трехзначное число, характеризующее конструктивно-технологическое выполнение, и порядковый номер серии микросхем, например: К118, К140, К155, К174. Далее две буквы, по которым можно судить о функциональном назначении микросхемы, например: ГС — генератор гармонических сигналов, УН — усилитель низкой частоты. В конце обозначения — цифра, говорящая о порядковом номере данной микросхемы в серии по функциональному признаку. Вот пример полного обозначения одной из микросхем, с которой тебе предстоит иметь дело уже в этой беседе: К118УН1. Это микросхема широкого применения (буква К), полупроводниковая (первая за ней цифра 1), в серии с порядковым номером 18, предназначена для усиления колебаний низкой частоты (УН), первая (цифра 1 в конце) в этой серии.

Все микросхемы подразделяют на две большие группы: аналоговые (или линейно-импульсные) и цифровые (или логические). Аналоговые микросхемы предназначаются для усиления, генерирования, преобразования электрических колебаний, например в радиовещательных и телевизионных приемниках, магнитофонах, а цифровые — для ЭВМ, устройств автоматики и телемеханики, электронных часов, различных приборов с цифровым отсчетом результатов измерения.

Внешний вид некоторых микросхем, с которыми тебе предстоит иметь дело, показан на рис. 151. Это микросхемы серий К118, К155, К122, К140 и К224. Аналогично выглядят микросхемы широкого применения многих других серий. Рядом для сравнения изображена копеечная монета, дающая представление о размерах микросхем.

Масса микросхемы серии К118 или К155 — 1 г, серии К122 или К140 — 1,5 г, серии К224 — 3 г.

Вот то немногое, что для начала в общих чертах можно сказать о микросхемах. Практика расширит твои знания о них.

Начнем с аналоговых микросхем.

НА АНАЛОГОВОЙ МИКРОСХЕМЕ

Группу аналоговых образует более трех десятков серий микросхем разных степеней интеграции. Для тебя же сейчас, пока малоопытного радиолюбителя, наибольший интерес представляет микросхема К118УН1А — самая простая из серии К118. Буква А или Б, стоящая в конце обозначения, говорит о том, что микросхема рассчитана на питание от источника постоянного тока напряжением 6,3 В, а если буква В, Г или Д — от источника напряжением 12,6 В. Микросхемы с буквенным индексом А и Б могут обеспечить двухсот — четырехсоткратное, а с буквенными индексами В — Д — в 2 раза большее усиление низкочастотного сигнала. Микросхему можно использовать и для усиления высокочастотного сигнала, но в этом случае ее усилительные свойства снизятся в 5—10 раз.

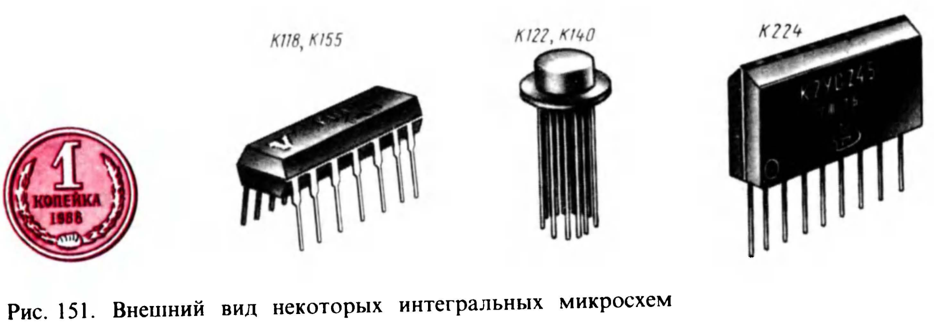


Рис. 151. Внешний вид некоторых интегральных микросхем

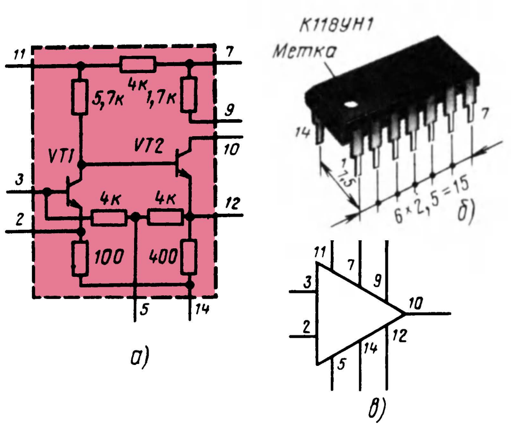


Рис. 152. Схема (*а*), конструкция (*б*) и графическое обозначение (*в*) микросхемы К118УН1

Что же представляет собой микросхема К118УН1?

Схема («начинка») этой микросхемы (с любым буквенным индексом), конструкция с нумерацией выводов и графическое обозначение ее на принципиальных схемах показаны на рис. 152. Как видишь, она представляет собой почти готовый двухкаскадный усилитель на кремниевых транзисторах структуры n-p-n. Связь между транзисторами микросхемы непосредственная (или гальваническая) — база транзистора VT2 второго каскада подключена непосредственно к коллектору транзистора VT1 первого каскада. В эмиттерную цепь транзистора VT2 включен резистор сопротивлением 400 Ом. На нем происходит падение напряжения тока в этой цепи, которое через два соединенных последовательно резистора по 4 кОм подается на базу транзистора VT1 и, действуя как напряжение смещения, открывает его. Резистор в коллекторной цепи транзистора VT1 (5,7 кОм) — его нагрузка. Создающееся на нем напряжение усиленного сигнала подается непосредственно на базу транзистора VT2 для дополнительного усиления.

Вывод 3 является входом, а вывод 10 — выходом микросхемы. Вывод 10 можно соединить с выводом 9. В этом случае нагрузкой транзистора второго каскада станет резистор 1,7 кОм. Но нагрузку усилителя, например головные телефоны, можно включить непосредственно в коллекторную цепь цепь транзистора VT2, подключив ее к выводам 7 и 9.

Всего микросхема имеет 14 выводов, нумерация которых идет от специальной метки-ключа на корпусе в направлении движения часовой стрелки (смотреть снизу). Но некоторые из них, например выводы 1, 4, 6, 8 и 13, вообще не задействованы, а некоторые в зависимости от применения микросхемы не используются.

Применение микросхемы К118УН1 может быть очень разнообразно. Вот несколько конкретных примеров.

Первый пример — **простой усилитель ЗЧ** (рис. 153), который можно использовать, например, для прослушивания грамзаписи на головные телефоны, как усилитель к детекторному приемнику или в качестве предварительного усилителя напряжения колебаний ЗЧ. В нем работает микросхема К118УН1Б (DA1), дающая несколько бóльшее усиление, чем такая же микросхема, но с буквенным индексом А. Источник питания $U_{и.п}$ напряжением не более 6,3 В подключают к микросхеме через ее выводы 7 (плюс) и 14 (минус). Сигнал ЗЧ, который надо усилить, подается на вход 3 микросхемы через конденсатор C1. Усиленный сигнал, снимаемый с соединенных вместе выводов 9 и 10, через оксидный конденсатор C5 поступает к телефонам BF1 и преобразуется ими в звук. Конденсатор C4 блокирует телефоны по наивысшим частотам звукового диапазона.

Какова роль оксидных конденсаторов C2 и C3, включенных между общим заземленным проводником цепи питания и выводами 11 и 12 микросхемы? Конденсатор C2 совместно с резистором микросхемы (4 кОм) образует развязывающий фильтр, устраняющий паразитную обратную связь между вторым и первым каскадами микросхемы через общий источник

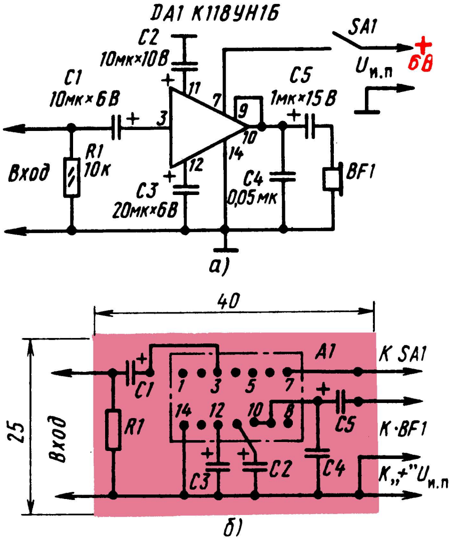


Рис. 153. Усилитель на микросхеме К118УН1Б

питания. Без него колебания тока, возникающие при работе транзистора второго каскада, могут проникнуть в цепь питания транзистора первого каскада, что приведет к самовозбуждению усилителя. Конденсатор C3 шунтирует эмиттерный резистор транзистора второго каскада микросхемы (400 Ом) по переменному току и тем самым ослабляет отрицательную обратную связь, снижающую усиление микросхемы.

Если для усилителя использовать оксидные конденсаторы К50-6, то его детали, кроме источника питания (четыре элемента 332 или пять аккумуляторов Д-0,06) и выключателя SA1 (тумблер ТВ2-1), можно смонтировать на плате размерами не более 40 × 25 мм (рис. 153, *б*). Детали размещай с одной стороны платы, а соединения между ними делай с другой стороны. Для выводов микросхемы просверли в плате два ряда отверстий диаметром 0,8...1 мм; расстояние между рядами отверстий 7,5 мм, между центрами отверстий в рядах 2,5 мм.

Телефоны BF1 — высокоомные ТОН-2. Если будешь использовать телефонный капсюль ДЭМ-4м или низкоомные головные телефоны, то включай их между плюсовым проводником и выводом 10 микросхемы (не соединяя его с выводом 9).

Правильно смонтированный усилитель не нуждается в подгонке режимов транзисторов. Чтобы он начал работать, надо лишь подать на него напряжение питания.

Второй пример — **генератор колебаний ЗЧ** (рис. 154). Чтобы усилитель микросхемы превратить в генератор электрических колебаний частотой 800...1000 Гц, между его выходом (соединенные вместе выводы 9 и 10) и входом (вывод 3) надо включить конденсатор C1 емкостью 2200...3000 пФ. Этот конденсатор создаст между выходом и входом микросхемы положительную обратную связь по переменному току, и усилитель возбудится. При этом в головных телефонах, подключенных к выходу генератора, будет слышен звук средней тональности. Желательный тон этого звука можно устанавливать подбором конденсатора C1: чем больше будет его емкость, тем ниже тон звука.

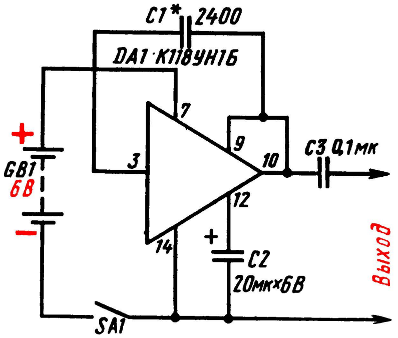


Рис. 154. Схема генератора колебаний звуковой частоты

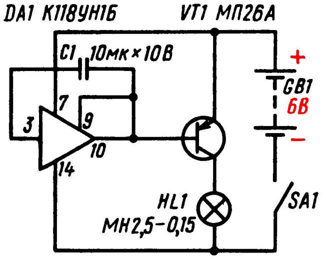


Рис. 155. Схема генератора световых импульсов

Такой генератор можно использовать как источник сигнала для проверки работоспособности усилителей ЗЧ. Можно использовать его и в качестве звукового генератора для изучения телеграфной азбуки. В этом случае надо только вместо выключателя питания SA1 включить телеграфный ключ, а к выходу подключить головные телефоны.

Третий пример — **генератор световых импульсов** (рис. 155), который можно использовать, например, для макета маяка или для имитации мигания глаз фигурки животного. Здесь, как и в предыдущем примере, усилитель микросхемы DA1 превращается в генератор медленных колебаний благодаря включению между ее выходом и входом конденсатора C1 большой емкости.

Генерируемые им электрические колебания поступают на базу транзистора VT1, работающего в режиме переключения, т. е. как электронный ключ. При увеличении отрицательного напряжения на базе до 0,2...0,3 В транзистор открывается, его коллекторный ток резко увеличивается и лампочка HL1, включенная в эту цепь, загорается. При уменьшении отрицательного напряжения на базе почти до нуля транзистор закрывается и лампочка гаснет.

Частота следования световых импульсов зависит в основном от напряжения источника питания и емкости конденсатора C1. При напряжении источника 6 В и конденсаторе емкостью 100 мкФ лампочка МН2,5-0,15 (2,5 В × 0,15 А) вспыхивает 45—50 раз в минуту. С конденсатором емкостью 200 мкФ частота световых импульсов уменьшится примерно вдвое.

Конструкция генератора световых импульсов произвольная. Транзистор МП26А (или МП20, МП21, МП25 с любым буквенным индексом)

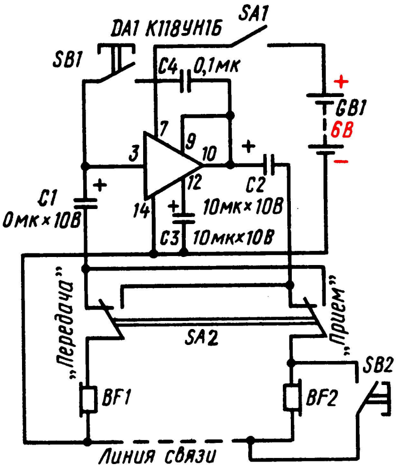


Рис. 156. Схема переговорного устройства с односторонним вызовом

можно заменить на МП42. Но в этом случае лампочка HL1 должна быть МН2,5-0,68, иначе транзистор будет перегреваться и может произойти тепловой пробой его p-n переходов.

Следующий пример — **переговорное устройство с односторонним вызовом** (рис. 156). В нем та же микросхема К118УН1Б работает как усилитель и генератор колебаний звуковой частоты. Двухпозиционным переключателем SA2, например тумблером ТП1-2 или МТ3, ко входу микросхемы (через конденсатор C1) можно подключить телефонный капсюль BF1 (типа ДЭМ-4М) или BF2, а к выходу (через конденсатор C2), наоборот, капсюль BF2 или BF1. Когда ко входу подключен телефонный капсюль BF1, то он работает как микрофон. Создаваемые им колебания звуковой частоты усиливаются и через двухпроводную линию связи, подключенную в это время к выходу микросхемы, поступают к капсюлю BF2 и преобразуются им в звук. При другом положении контактов переключателя SA2, наоборот, капсюль BF2 работает как микрофон, а BF1 — как телефон.

Чтобы абонента, находящегося на другом конце линии связи, вызвать для разговора, надо тумблером SA1 включить питание, переключатель SA2 установить в положение «Передача» и нажать на кнопку SB1. Включившийся при этом конденсатор C4 создаст между выходом и входом микросхемы сильную положительную обратную связь, благодаря которой усилитель самовозбудится и в обоих телефонных капсюлях появится прерывистый звук — сигнал вызова. Услышав его, абонент должен кратковременно нажать на свою кнопку SB2, чтобы замкнуть выход усилителя и тем самым сорвать генерацию. Прекращение прерывистого звука означает готовность вести разговор. Отпустив кнопку SB1, оператор пункта связи передает, а абонент принимает сообщение. Закончив передачу, оператор переводит переключатель SA2 в положение «Прием». Теперь абонент говорит, а оператор слушает ответную информацию.

Так с помощью одной микросхемы, используя ее как усилитель и генератор ЗЧ, можно установить двустороннюю телефонную связь. Конструкция переговорного устройства произвольная.

И еще один пример — **малогабаритный рефлексный приемник прямого усиления,** т. е. приемник, усилитель которого используется дважды — для усиления модулированного радиочастотного сигнала (до детектора) и усилителя колебаний звуковой частоты. Сущность действия такого приемника иллюстрируют схема и графики, приведенные на рис. 157. На вход усилителя DA от колебательного контура (на схеме не показан) поступает модулированный сигнал радиовещательной станции. После усиления этот сигнал детектируется диодом VD; выделенные им колебания звуковой частоты подаются на вход того же усилителя, а после усиления преобразуются телефонами BF в звук.

Принципиальная схема и конструкция подобного приемника на микросхеме К118УН1Б изображены на рис. 158. Вот как он работает. Сигнал радиостанции, на которую настроен контур L1C1 магнитной антенны, через катушку связи L2 подается на вывод 3 микросхемы DA1. С катушки L3, являющейся радиочастотной нагрузкой микросхемы, усиленный сигнал через катушку L4, образующую с катушкой L3 высокочастотный трансформатор, поступает на диод VD1, а колебания звуковой частоты, снимаемые с нагрузки R1 детектора, через конденсатор C8 и катушку L2 — на тот же входной вывод 3 микросхемы. Роль второй, низкочастотной, нагрузки выполняет внутренний резистор сопротивлением 400 Ом в эмиттерной цепи второго транзистора микросхемы.

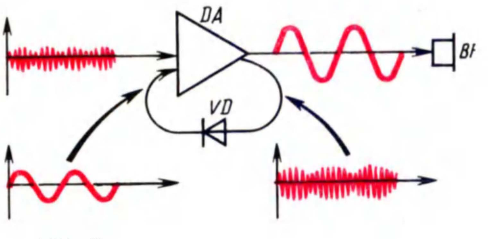


Рис. 157. Схема, иллюстрирующая принцип работы рефлексного приемника

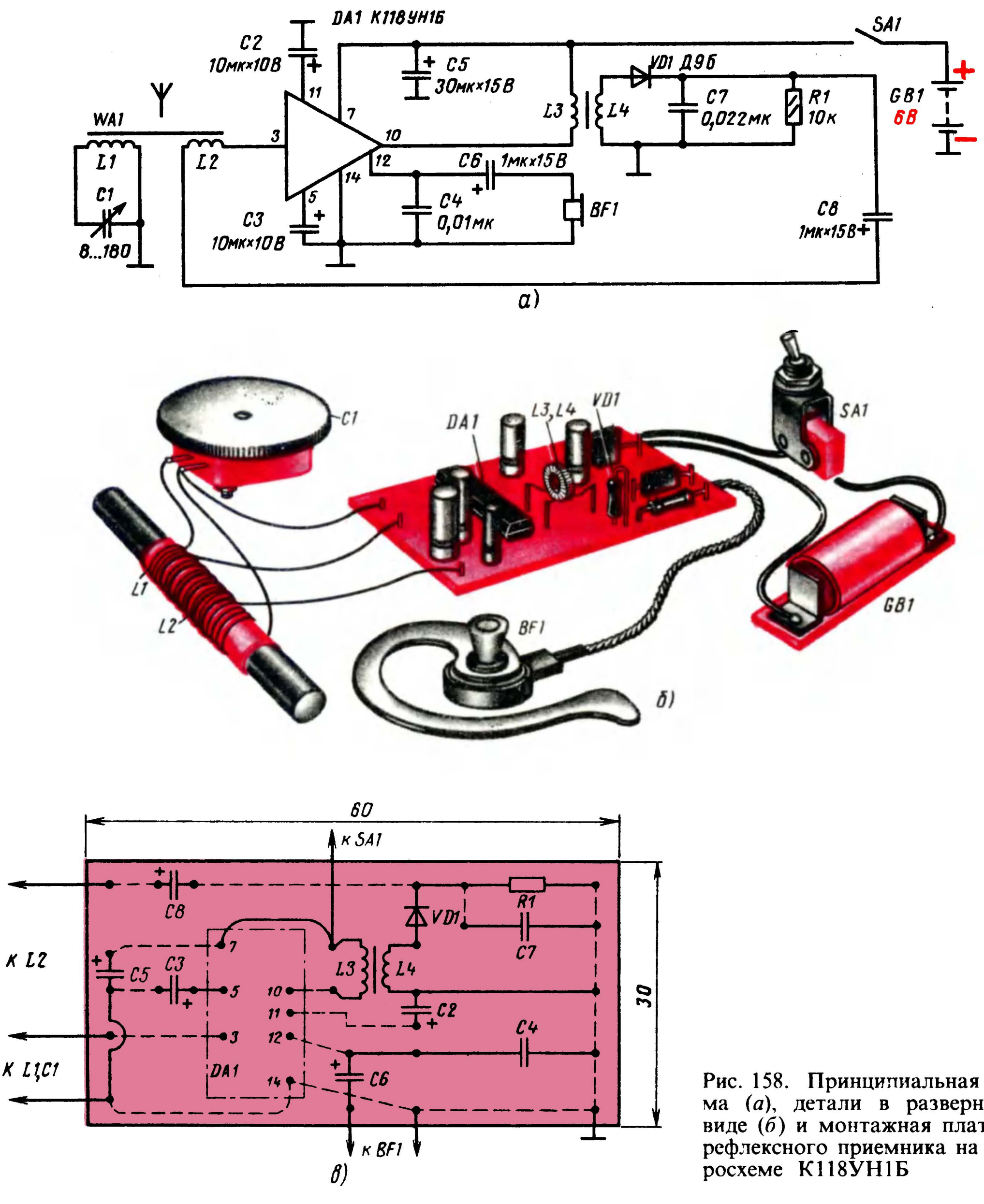

DA1 К118УН1Б
C2 10мк×10В
11
WA1
L1
C1
8...180
L2
3
7
10
12
14
5
C3 10мк×10В
C5 30мк×15В
L3
L4
VD1 Д9Б
C7 0,022мк
R1 10к
SA1
GB1 6В
C6 1мк×15В
C4 0,01мк
BF1
C8 1мк×15В
а)
C1
DA1
L3,L4
VD1
SA1
L1
L2
BF1
GB1
б)
60
к SA1
C8
R1
VD1
C7
к L2
C5
C3
7
5
10
11
C2
12
C4
к L1,C1
3
DA1
14
C6
30
к BF1
в)

Рис. 158. Принципиальная схема (*а*), детали в развернутом виде (*б*) и монтажная плата (*в*) рефлексного приемника на микросхеме К118УН1Б

С него колебания звуковой частоты через вывод 12 и конденсатор C6 подводятся к телефону BF1 и преобразуются им в звук.

Каковы функции других деталей приемника? Конденсатор C5 шунтирует источник питания $U_{\text{и.п}}$ по переменному току. Конденсатор C2 совместно с резистором, имеющимся в микросхеме, образуют развязывающий фильтр. Конденсатор C3, включенный между выводом 5 и «заземленным» проводником, устраняет отрицательную обратную связь по переменному току, снижающую усиление первого каскада микросхемы. Конденсатор С4 шунтирует телефон по наивысшим частотам звукового диапазона и устраняет отрицательную обратную связь во втором каскаде усилителя радиочастоты.

Источником питания приемника служит батарея, составленная из пяти аккумуляторов Д-0,1. Можно также использовать четыре элемента 322 или 316, соединив их последовательно.

Для магнитной антенны WA1 потребуется ферритовый стержень марки 400НН или 600НН диаметром 8 и длиной 55...60 мм, а для высокочастотного трансформатора L3, L4 — ферритовое кольцо диаметром 7...8 мм. Для приема радиостанций средневолнового диапазона контурная катушка L1, намотанная на бумажной гильзе, должна содержать 70—80 витков; катушка связи L2, намотанная поверх контурной катушки, 5—6 витков провода ПЭВ-1 0,12...0,15, а для приема радиостанций длинноволнового диапазона — соответственно 210—220 и 15—20 витков такого же провода. Длинноволновую контурную катушку желательно намотать четырьмя-пятью секциями по равному числу витков в каждой секции.

Катушки высокочастотного трансформатора наматывай проводом ПЭВ-1 0,1...0,12 с помощью проволочного челнока, предварительно сгладив углы ферритового кольца наждачной бумагой. Для средневолнового диапазона катушка L3 должна содержать 75—80 витков, L4 — 60—85 витков, а для длинноволнового диапазона соответственно 110—120 и 75—80 витков такого же провода.

Конденсатор переменной емкости С1 контура магнитной антенны может быть любой конструкции. Желательно, однако, чтобы он был малогабаритным, например типа КПЕ-180. Можно, разумеется, использовать и подстроечный конденсатор КПК-2 с наибольшей емкостью 100 пФ, но тогда диапазон волн, перекрываемый контуром, несколько сузится. От того, каким будет этот элемент настройки контура, зависит конструкция приемника в целом.

Телефон BF1 — ушной типа ТМ-2М, ТМ-4М, телефонный капсюль ДЭМШ-4м или низкоомные головные телефоны, например ТА-56М. Конденсаторы С2, С3 и С5 — оксидные типа К50-6, С4 и С7 — КЛС или МБМ.

Проверку работоспособности приемника производи в таком порядке. Сначала телефон (желательно высокоомный) подключи к нагрузочному резистору R1 детектора, а вывод отрицательной обкладки конденсатора С8 (отпаяв его от резистора R1) соедини с заземленным проводником цепи питания. Изменяя емкость конденсатора С1 и одновременно поворачивая приемник с магнитной антенной в горизонтальной плоскости, ты должен услышать те станции, которые уверенно принимаются в вашей местности. После восстановления соединения конденсатора С8 с нагрузкой детектора и включения телефона на свое место громкость радиоприема должна стать значительно больше.

Никакой подгонки режимов транзисторов микросхемы приемник не требует. Что же касается небольшого смещения границ диапазона волн, перекрываемого приемником, то это, как ты уже знаешь, можно сделать изменением положения контурной катушки L1 (вместе с катушкой L2) на ферритовом стержне.

В любом из тех устройств, о которых я здесь рассказал, можно также использовать микросхему К118УН1А или, увеличив напряжение источника питания до 12 В, микросхему К118УН1В. В первом случае уровень сигнала на выходе усилителя, генератора или приемника будет несколько слабее, а во втором — несколько сильнее. При этом никаких изменений в монтаже делать не надо.

Можно, кроме того, использовать и аналогичные им микросхемы К122УН1А-В из серии К122, внешним видом напоминающие обычные транзисторы. Но тогда нужно будет изменить участок монтажа, относящийся непосредственно к микросхеме в соответствии с ее конструкцией и расположением выводов.

Таковы лишь некоторые примеры возможного применения самых простых аналоговых микросхем. Что же касается аналоговых микросхем повышенной степени интеграции, например серий К174, К224, о них мы еще поговорим в других беседах.

ЦИФРОВАЯ МИКРОСХЕМА

Основой описания и логики действия цифровых микросхем служит двоичная система счисления, состоящая всего из двух цифр — единицы (1) и нуля (0). Отсюда и обобщенное название микросхем и создаваемых на их базе всевозможных приборов и устройств — цифровые. Эти две цифры двоичной системы счисления позволяют записывать и «запоминать» практически любые числа. Например, число 12 привычной нам десятичной системы счисления, записанное в двоичной системе, выглядит так: 1100. Здесь каждая позиция числа, которая может быть представлена в виде электрических импульсов, соответствует одному из двух логических состояний — логической 1 или логическому 0. Особенно удобной такая система кодирования информации оказалась для программирования и работы ЭВМ.

Для электрических сигналов, несущих ту или иную цифровую информацию, двоичная система счисления также соответствует двум состояниям или двум условным электрическим уровням: высокому, т. е. более положительному, и низкому — менее положительному и даже нулевому.

Но на практике невозможно выполнить условие, при котором бы все цифровые сигналы имели одинаковые уровни напряжения. Поэтому, учитывая возможные допуски и свойства цифровых микросхем, электрические сигналы, несущие информацию, характеризуют некоторыми интервалами напряжений. В частности, для микросхем серии К155, наиболее широко используемых радиолюбителями для конструируемых ими приборов и устройств цифровой техники, для низкого уровня, соответствующего логическому 0, приняты напряжения сигналов от 0 до 0,4 В, т. е. не более 0,4 В, а высокого, соответствующего уровню логической 1,— не менее 2,4 В и не более напряжения, на которое они рассчитаны,— 5 В. Для микросхем других серий эти границы уровней напряжений могут быть несколько меньшими или, наоборот, несколько большими, но неизменными для данной серии.

В серию К155 входит около 100 микросхем разных степеней интеграции и функционального назначения. Это различные триггеры, счетчики импульсов, делители частоты, преобразователи цифровых кодов, дешифраторы и т. д. Основой же многих из них служат так называемые логические элементы — электронные устройства, реализующие простейшие функции алгебры логики. С них и следует начинать знакомство с устройством и работой цифровых микросхем.

Логических элементов, работающих как самостоятельные цифровые микросхемы малой степени интеграции и как компоненты микросхем более высокой степени интеграции, можно насчитать несколько десятков. Но здесь мы поговорим о работе и возможном применении лишь одного из них — об элементе 2И-НЕ, представляющем собой комбинацию из логических элементов И и НЕ.

Схема логического элемента 2И-НЕ, являющегося базовым элементом микросхем серии К155, и его условное графическое обозначение показаны на рис. 159. Его условным символом, как и у элемента И, служит знак «&» внутри прямоугольника (заменяющий союз «И» в английском языке). Входов, обозначаемых слева, два и один выход — справа. Небольшой кружок, которым начинается выходная линия связи, символизирует логическое отрицание «НЕ» на выходе элемента. Вообще же у элемента И-НЕ входов может быть больше.

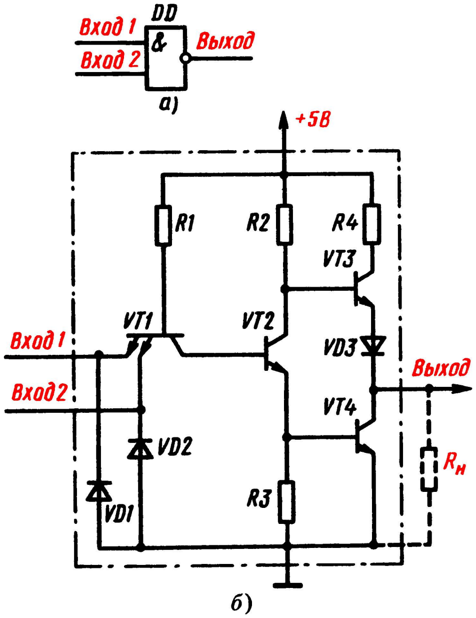


Рис. 159. Графическое обозначение (*а*) и схема логического элемента 2И-НЕ (*б*)

Логический элемент 2И-НЕ состоит из четырех транзисторов структуры n-p-n, трех диодов и пяти резисторов. Связь между транзисторами непосредственная. Резистор $R_н$, показанный штриховыми линиями, символизирует нагрузку, подключенную к выходу элемента. Подобные электронные устройства цифровой техники называют микросхемами транзисторно-транзисторной логики или сокращенно ТТЛ. Входная логика осуществляется транзистором (первая буква Т), а усиление и инверсия — также транзисторами (вторая буква Т).

Входной транзистор VT1, включенный по схеме с общей базой, двухэмиттерный, причем эмиттеры соединены с общим проводом питания через диоды VD1 и VD2, которые защищают транзистор от случайного попадания на эмиттеры напряжения отрицательной полярности. Транзистор VT2 образует усилительный каскад с двумя нагрузками: эмиттерной (резистор R3) и коллекторной (резистор R2). Снимаемые с них противофазные сигналы (противоположные по уровню, если на коллекторе высокий уровень напряжения, на эмиттере — низкий) поступают на базы транзисторов VT3 и VT4 выходного каскада. Таким образом, выходные транзисторы во время работы всегда находятся в противоположных состояниях — один из них закрыт, а второй в это время открыт. Этому способствует и диод VD3.

При наличии на одном или обоих входах элемента напряжения низкого уровня (например, при соединении их с общим проводом источника питания), транзистор VT1 открыт и насыщен, транзисторы VT2 и VT4 закрыты, а транзистор VT3 выходного каскада открыт и через него, диод VD3 и нагрузку $R_н$ течет ток. В том же случае, когда на оба входа будет подано напряжение высокого уровня, транзистор VT1 закроется, а транзисторы VT2 и VT4 откроются и тем самым закроют транзистор VT3. При этом ток через нагрузку практически прекратится, так как элемент примет нулевое состояние.

Напряжение низкого уровня на выходе логического элемента равно напряжению на коллекторе открытого транзистора VT4 и не превышает 0,4 В. Напряжение высокого уровня на выходе логического элемента (когда транзистор VT4 закрыт) отличается от напряжения источника питания на значение падения напряжения на транзисторе VT3 и диоде VD3 и составляет не менее 2,4 В. Фактически же логические напряжения высокого уровня на выходе элемента зависят от сопротивления нагрузки и могут быть в пределах 0,1...0,15 и 3,5...3,9 В соответственно.

Переход элемента из единичного состояния в нулевое происходит скачкообразно при подаче на его входы напряжения около 1,2 В, называемого пороговым.

Запомни принцип действия логического элемента 2И-НЕ: при сигнале низкого уровня на одном или одновременно на всех его входах на выходе будет сигнал высокого уровня, который изменяется на сигнал низкого уровня при появлении таких же сигналов на всех входах элемента. Такова логика действия и многовходовых элементов И-НЕ, например, таких, как 3И-НЕ, 8И-НЕ.

Логический элемент И-НЕ независимо от числа входов обладает еще одним существенным свойством, суть которого заключается в следующем: если все его входы соединить вместе и подать на них сигнал высокого уровня, на выходе элемента будет сигнал низкого уровня. И наоборот, при подаче на объединенный вход сигнала низкого уровня на выходе элемента будет сигнал высокого уровня. В этом случае элемент И-НЕ, как, вероятно, ты уже догадался, становится инвертором, т. е. логическим элементом НЕ.

Чтобы закрепить сущность действия логического элемента 2И-НЕ, предлагаю провести с ним несколько опытов. Для этого можно использовать один из элементов микросхемы К155ЛА3, с которой тебе часто придется сталкиваться в практических делах.

Условное графическое изображение микросхемы К155ЛА3 приведено на рис. 160. Конструктивно она выглядит так же, как микросхемы серии К118: пластмассовый корпус прямоугольной формы с 14 пластинчатыми выводами. Напряжение +5 В источника питания подается на вывод 14, а −5 В — на вывод 7. Микросхема состоит из четырех элементов 2И-НЕ, питающихся от общего источника постоянного тока, но каждый из них работает как самостоятельная микросхема. Выделить элементы нетрудно по номерам выводов. Так, входные выводы 1, 2 и выходной вывод 3 относятся к одному из ее элементов, входные выводы 4, 5 и выходной 6 — ко второму элементу и т. д. Выводы 7 и 14, служащие для подачи питания на все элементы, не принято обозначать на схемах потому, что элементы обычно изображают не слитно, как на рис. 160, а раздельно, в разных участках принципиальной электрической схемы устройства.

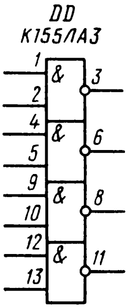


Рис. 160. Микросхема К155ЛА3

Для питания микросхемы желательно использовать источник, обеспечивающий стабильное напряжение 5 В, например сетевой блок питания, описанный в следующей беседе. Но для опытов можно воспользоваться батареей 3336.

Опытную проверку логики действия элементов 2И-НЕ микросхемы К155ЛА3 можно проводить в любом порядке. Предположим, решим начать с первого элемента (с выводами 1—3). Тогда сначала один из входных выводов, например вывод 2, соедини с общим минусовым проводником источника питания, а вывод 1 — с плюсовым, но через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм (на рис. 161, *а* — R1). К выходному выводу 3 элемента подключи вольтметр PU. Что показывает стрелка вольтметра, выполняющего в данном случае роль индикатора? Напряжение, равное примерно 3,5...4 В, т. е. соответствующее напряжению высокого уровня.

Далее измерь вольтметром напряжение на входном выводе 1. И здесь, как увидишь, тоже высокий уровень напряжения. Отсюда вывод: когда на одном из входов элемента 2И-НЕ высокий уровень напряжения, а на другом низкий, на выходе будет высокий уровень напряжения. Иначе говоря, элемент находится в единичном состоянии.

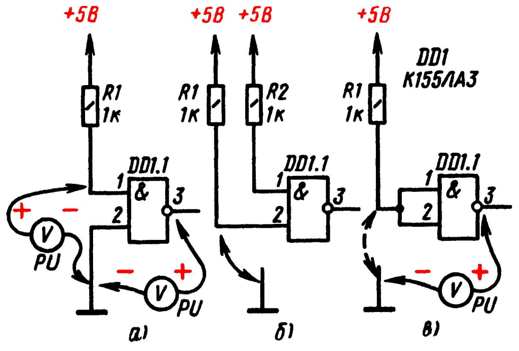


Рис. 161. Опыты с логическим элементом 2И-НЕ

Теперь и входной вывод 2 элемента соедини через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм с плюсовым проводником цепи питания, а проволочной перемычкой — с общим (рис. 161, *б*). Измерь напряжение на выходном выводе. На нем, как и в предыдущем случае, будет напряжение высокого уровня. Следя за стрелкой индикатора, удали проволочную перемычку, чтобы и на входе 2 элемента появилось напряжение высокого уровня. Что фиксирует вольтметр на выходе элемента? Напряжение около 0,3 В, т. е. напряжение, соответствующее низкому уровню. Следовательно, элемент из единичного состояния переключился в нулевое.

Затем той же проволочной перемычкой замкни вход 1 на общий проводник источника питания. На выходе при этом сразу появится напряжение высокого уровня. А если любой из входных выводов периодически замыкать на общий проводник, как бы имитируя подачу на него напряжения низкого уровня? С такой же частотой следования на выходе элемента будут появляться электрические импульсы и с такой же частотой будет колебаться стрелка подключенного к нему вольтметра.

О чем говорят проведенные опыты? Они подтверждают логику действия элемента И-НЕ: при подаче напряжения высокого уровня на оба входа на выходе элемента появляется напряжение низкого уровня или, говоря иначе, элемент из единичного состояния переключается в нулевое.

Еще один опыт: отключи оба входных вывода элемента от других деталей и проводников. Что теперь будет на выходе? Напряжение низкого уровня. Так и должно быть, потому что неподключение входных выводов равнозначно подаче на них напряжения высокого уровня и, следовательно, установке элемента в нулевое состояние. Не забывай об этой особенности логических элементов 2И-НЕ.

Следующий опыт — проверь действия того же логического элемента 2И-НЕ при включении его инвертором, т. е. как элемента НЕ. Для этого соедини между собой оба входных вывода и через резистор сопротивлением 1...1,5 кОм подключи их к плюсовому проводнику источника питания (рис. 161, *в*). Что покажет вольтметр, подключенный к выходу элемента? Напряжение низкого уровня. Не отключая резистор от этого проводника, замкни объединенный вход на общий проводник (на рис. 161, *в* показано штриховой линией) и одновременно проследи за реакцией стрелки вольтметра — она покажет напряжение высокого уровня. Так ты убедишься в том, что сигнал на выходе инвертора всегда противоположен входному.

Проведи подобные опыты с другими логическими элементами микросхемы К155ЛА3 и сделай соответствующие выводы.

НА ОДНОЙ ЦИФРОВОЙ МИКРОСХЕМЕ

Что можно сделать на одной микросхеме К155ЛА3? Многое. Например разные варианты генераторов, простые измерительные приборы, игровые автоматы и даже электромузыкальный инструмент.

Вот конкретные примеры.

Схему первого устройства на микросхеме К155ЛА3, в котором работают все составляющие ее элементы 2И-НЕ, ты видишь на рис. 162, *а*. Это генератор колебаний звуковой частоты. Сам генератор образуют последовательно соединенные элементы DD1.1, DD1.2 и DD1.3, включенные инверторами. Конденсатор С1 создает между выходом второго элемента и входом первого элемента положительную обратную связь, обеспечивающую автоколебательный процесс, а резистор R1 стабилизирует режим возбуждения генератора.

Работает устройство следующим образом. Сразу после включения питания (выключателем SA1) конденсатор С1 начинает заряжаться через резистор R1. Предположим, что в этот момент на выходе элемента DD1.2 будет напряжение высокого уровня (около 4 В), тогда на выходе элемента DD1.3 будет напряжение низкого уровня (примерно 0,4 В). Как только напряжение на левой (по схеме) обкладке конденсатора С1, а значит, и на входе элемента DD1.1 станет ниже порогового (1,2...2,3 В), состояние всех элементов изменится на обратное. Теперь конденсатор С1 начинает разряжаться через резистор R1 и элемент DD1.3, а затем, когда элементы переключатся в первоначальное состояние, будет вновь заряжаться и т. д. В результате на выводе 6 элемента DD1.2, являю-

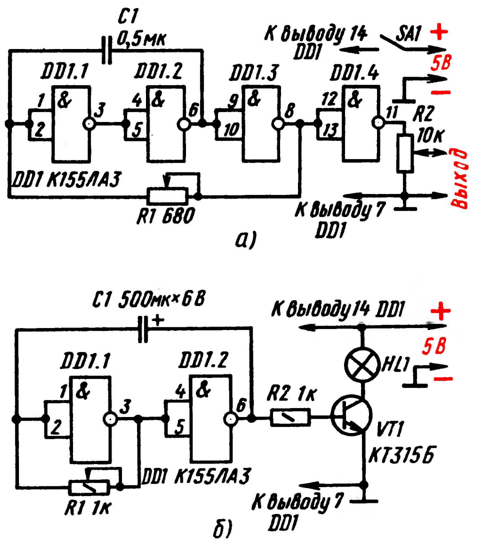


Рис. 162. Генераторы колебаний звуковой частоты (*а*) и световых импульсов (*б*) на логических элементах 2И-НЕ

щегося выходом генератора, будут непрерывно, пока включено питание, формироваться импульсы напряжения прямоугольной формы. Точно такие же импульсы, но сдвинутые по фазе на 180°, будут и на выводе 11 элемента DD1.4, выполняющего функцию инвертора.

С выхода элемента DD1.4 сигнал генератора подается на переменный резистор R2, а с его движка на вход усилителя ЗЧ, работу которого надо проверить. Этот резистор, таким образом, выполняет роль регулятора уровня выходного сигнала генератора.

Частоту генерируемых импульсов плавно регулируют переменным резистором R1. С уменьшением его сопротивления частота генератора повышается, а с увеличением, наоборот, снижается. При емкости конденсатора C1, равной 0,5 мкФ, наибольшая частота генератора составляет 4...5 кГц, а наименьшая примерно 500 Гц.

Смонтировать и проверить работоспособность генератора можно на картонной плате размерами примерно 50×60 мм. Детали размещай с одной стороны платы, а соединения между ними делай с другой стороны. Выводы микросхемы пропусти через проколы в плате до упора корпуса, отогни немного в стороны и тут же пронумеруй, чтобы исключить ошибки в соединении ее элементов. Конденсатор C1 — МБМ или БМ, резисторы R1 и R2 любых типов. Источником питания может быть выпрямитель с выходным напряжением 5 В или батарея 3336. Проводник положительного полюса источника тока (желательно в изоляции красного цвета) подключай к выводу 14, а проводник отрицательного полюса — к выводу 7 микросхемы.

Тщательно проверь все соединения по принципиальной схеме. Если ошибок в монтаже нет, то подключи к выходу генератора головные телефоны и включи питание — в телефонах услышишь звук, тональность которого можно изменять переменным резистором R1, а громкость — переменным резистором R2.

Схема второго опытного устройства показана на рис. 162, *б*. Из четырех элементов микросхемы К155ЛА3 в нем работают только два (любых), а два других не используются. В устройство дополнительно введен транзистор с лампочкой накаливания в коллекторной цепи. В целом же устройство представляет собой генератор световых импульсов, аналогичный уже опробованному тобой в этой беседе (см. рис. 155).

Элементы DD1.1 и DD1.2, включенные инвертором, соединены между собой последовательно и образуют как бы двухкаскадный транзисторный усилитель с непосредственной связью. Конденсатор C1, включенный между выходом элемента DD1.2 и входом элемента DD1.1, создает между выходом и входом такого усилителя положительную обратную связь, благодаря которой он возбуждается и начинает генерировать электрические колебания.

Догадываешься, что представляет собой эта часть электронного устройства? Да, это мультивибратор — устройство, генерирующее импульсы напряжения, близкие по форме к прямоугольным. Частота генерируемых импульсов зависит от емкости конденсатора C1 и сопротивления резистора R1. При емкости конденсатора C1, указанной на схеме, только переменным резистором R1 частоту следования импульсов можно изменять примерно от 60 до 120 импульсов в 1 мин (1...2 Гц).

С вывода 6 элемента DD1.2, являющегося выходом мультивибратора, скачкообразно изменяющееся напряжение подается на базу транзистора VT1 и управляет его работой. В те моменты, когда на выводе 6 этого элемента напряжение низкого уровня, транзистор VT1 закрыт. Когда же на этом выводе напряжение высокого уровня, транзистор открывается и лампочка HL1 в его коллекторной цепи загорается. Таким образом, транзистор, управляемый перепадами напряжения на выходе элемента DD1.2, работает в режиме переключения, а частота световых вспышек лампочки определяется частотой импульсов, генерируемых мультивибратором.

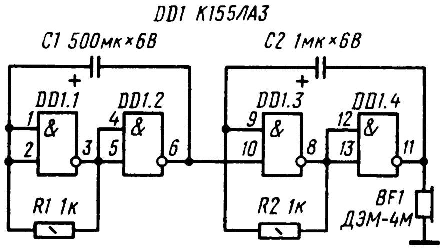


Рис. 163. Схема генератора прерывистого звукового сигнала

Детали монтируй на такой же картонной плате, на которой ты испытывал первый генератор. Оксидный конденсатор С1 типа К50-6, лампочка HL1 — на напряжение 2,5 В и ток накала 68 мА (МН2,5-0,068), переменный резистор R1 любой конструкции.

Прежде чем включить питание, движок резистора R1 поставь в положение наибольшего введенного сопротивления (по схеме — в крайнее правое), а между общим заземленным проводником и выходом мультивибратора (вывод 6 элемента DD1.2) включи вольтметр постоянного тока. Если ошибок в монтаже нет, то после включения питания стрелка вольтметра должна периодически, с частотой мультивибратора, отклоняться от нулевой отметки шкалы и с такой же частотой вспыхивать лампочка в коллекторной цепи транзистора. Попробуй уменьшать введенное сопротивление переменного резистора R1 — частота колебаний стрелки вольтметра и вспышек лампочки накаливания должна плавно увеличиваться.

Подключи параллельно конденсатору С1 второй конденсатор такой же или бóльшей емкости. Что изменилось? Частота световых вспышек, регулируемая резистором R1, уменьшилась примерно вдвое. Емкость этого конденсатора можно уменьшить примерно до 100 мкФ. Но когда при минимальном сопротивлении резистора R1 частота импульсов, генерируемых мультивибратором, будет столь значительной, что стрелка вольтметра и нить накала лампочки из-за инерционности уже не смогут на них реагировать. На такую частоту могут реагировать только головные телефоны.

Такое электронное устройство, но дополненное еще одним транзистором и лампочкой накаливания, можно использовать в качестве «мигалки» — указателя поворота при езде на велосипеде. В этом случае резистор R1 может быть постоянным, но подобранным такого номинала, чтобы лампочка вспыхивала не более 50—60 раз в 1 мин. Источник питания — батарея 3336. Для коммутации цепей питания используй трехпозиционный двухсекционный тумблер со средним нейтральным положением. В среднем положении ручки тумблера генератор и лампочки накаливания, находящиеся слева и справа от сидения велосипеда, обесточены. В левом положении ручки тумблера будут включаться одновременно сам генератор и левая лампочка, а при правом положении ручки тумблера — тот же генератор и правая лампочка указателя поворотов. Составить схему такой коммутации цепей питания ты, надеюсь, сможешь и без моей помощи.

Следующий пример — генератор прерывистого звукового сигнала (рис. 163). Он состоит из двух взаимосвязанных мультивибраторов, в которых работают все четыре логических элемента микросхемы К155ЛА3. Мультивибратор на элементах DD1.3 и DD1.4 генерирует колебания частотой около 1000 Гц, которые преобразуются телефонным капсюлем ДЭМ-4м (ВА1) в звук. Но звук прерывистый, потому что работой этого мультивибратора управляет другой — на логических элементах DD1.1 и DD1.2. Он генерирует тактовые импульсы с частотой следования около 1 Гц. Телефон звучит лишь в те промежутки времени, когда на выходе тактового генератора появляется высокий уровень напряжения. Длительность звуковых сигналов можно изменять подбором конденсатора С1 и резистора R1, а высоту звука — подбором конденсатора С2 и резистора R2.

Такое устройство вполне может заменить обычный квартирный звонок.

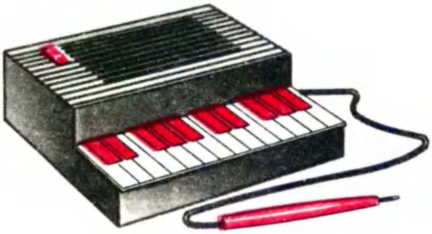
И еще пример — наипростейший электромузыкальный инструмент (ЭМИ), внешний вид и принципиальная схема которого показаны на рис. 164. Играют на нем, касаясь клавиатуры щупом. Его музыкальный диапазон — две октавы: от «до» первой октавы до «си» второй октавы, что соответствует диапазону звуковых частот от 260 до 988 Гц. Это, конечно, не электромузыкальный инструмент в полном смысле этого слова, а всего лишь электромузыкальная игрушка, сувенир. Но на нем все же можно играть многие несложные музыкальные мелодии. Лично я слышал их в исполнении старейшего радиолюбителя Ю. Пахомова — автора этой конструкции.

Принципиальная схема ЭМИ должна напомнить тебе схему генератора колебаний звуковой частоты (см. рис. 162, *а*). Но в том генераторе частоту колебаний ты изменял плавно переменным резистором, а здесь частота колебаний изменяется скачкообразно при включении в частотозадающую цепь резисторов R1—R24 разных номиналов.

И здесь все логические элементы 2И-НЕ микросхемы К155Л3 включены инверторами. Элементы DD1.1, DD1.2 и DD1.3 образуют генератор тона, а элемент DD1.4 совместно с первичной обмоткой трансформатора

T1 — усилитель мощности генерируемых колебаний звуковой частоты. Динамическая гловка BA1, подключенная ко вторичной обмотке трансформатора, преобразует эти колебания в звуковые разной тональности.

Питается ЭМИ от батареи 3336, «Планета-2» или трех элементов 332, соединенных последовательно. Максимальный потребляемый ток не превышает 30 мА.



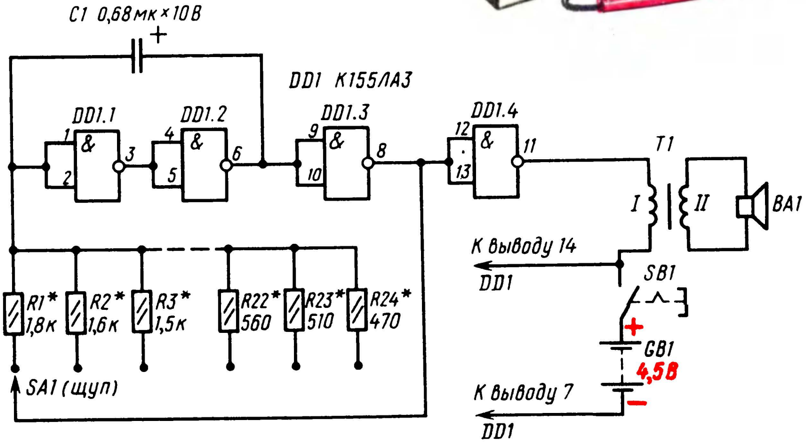
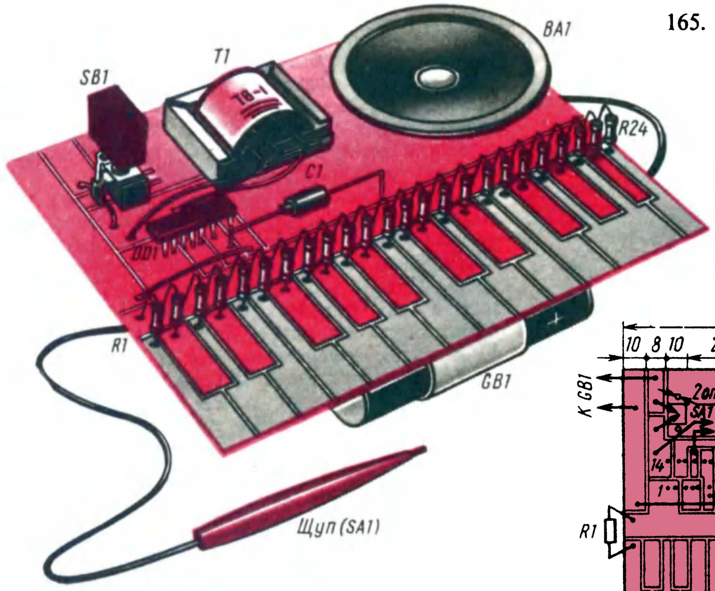


Рис. 164. Внешний вид и схема простейшего ЭМИ

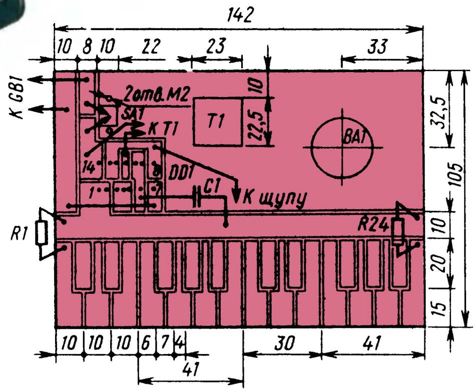
Частота колебаний генератора тона определяется емкостью конденсатора C1 и тем из резисторов R1—R24, который через щуп SA1, подключенный к выходу 8 элемента DD1.3, и клавишу, соответствующую этому тону, включается в частотозадающую цепь генератора. Чем меньше сопротивление резистора, включенного в эту цепь, тем выше тон звука. Звуку «до» первой октавы соответствует включение в цепь резистора R1, а звуку «си» второй октавы — включение щупом резистора R24. Сопротивление резисторов R1 — R24 подбирают опытным путем при настройке ЭМИ.

Основой ЭМИ служит плата из фольгированного стеклотекстолита. Размеры платы, конфигурация всех ее токонесущих площадок, клавиатуры и соединения деталей показаны на рис. 165. Изолирующие прорези в фольге шириной 1...1,5 мм сделаны резаком из ножовочного полотна. Сквозные отверстия в плате выпилены под кнопочный выключатель П2К (SB1), выходной трансформатор T1 типа ТВ-12 (можно применить трансформатор от любого промышленного малогабаритного транзисторного приемника) и магнитную систему малогабаритной динамической головки 0,1ГД-6 (BA1). Резисторы, конденсатор, выводные лепестки микросхемы и соединительные проводники припаивают к печатным проводникам, не просверливая отверстий в них. Чтобы основные длинные клавиши (они обычно белые) отличались по цвету от коротких, их следует аккуратно залудить. Оксидный конденсатор C1 должен быть с возможно малым током утечки, например типа К53-1. Резисторы МЛТ-0,125 или МЛТ-0,25. Сопротивление резистора R1 не должно быть больше 1,8 кОм, а резистора R24 — не менее 300 Ом. Номиналы промежуточных резисторов отличаются от соседних: в низкочастотной части звукового диапазона на 100...150 Ом, в высокочастотной — на 30...50 Ом. Так, например, ориентировочно сопротивление резистора R2 (нота «ре» первой октавы) должно быть 1670 Ом, а резистора R23 (нота «ля» второй октавы) — 505 Ом.

Для щупа SA1 используй корпус шариковой ручки или цанговый карандаш. Его металлический стержень, которым касаются клавишей во время игры, соедини гибким изолированным проводником с площадкой вывода 8 элемента DD1.4. Защитную крышку корпуса с вырезом под кнопку выключателя и отверстиями против динамической головки склей из листовой пластмассы или оргалита, покрась цветной нитроэмалью или оклей декоративной пленкой.



165. Конструкция и монтаж ЭМИ



Настройка ЭМИ заключается в тщательном подборе резисторов R1 — R24 частотозадающей цепи генератора тона. Первым подбирай резистор R1. На это время замени его последовательно соединенными переменным и постоянным резисторами сопротивлением по 1 кОм. Щупом коснись крайней левой клавиши и, пользуясь как эталоном роялем, пианино или баяном, переменным резистром настрой генератор на частоту, соответствующую ноте «до» первой октавы. Затем омметром измерь сопротивление временной цепочки резисторов и замени ее резистором (или несколькими резисторами) такого же номинала.

Аналогично подбирай другие резисторы частотозадающей цепи генератора тона, а затем приступай к овладению техникой игры на ЭМИ.

Может случиться, что у тебя не окажется фольгированного стеклотекстолита или гетинакса. В таком случае основой клавиатуры может быть пластинка органического стекла, на которую ты наклеишь полоски медной фольги. Для монтажа микросхемы, выключателя питания и оксидного конденсатора фольга необязательна.

Имей в виду, что с понижением напряжения источника питания частота колебаний генератора, а значит, и тон звука ЭМИ несколько изменяется. Но соотношение между смежными тональными частотами при этом в основном сохраняется, что практически не сказывается на исполняемой мелодии. А чтобы частота тонального генератора все же не изменялась, питать ЭМИ надо от источника сиабилизированного напряжения или от четырех элементов 343, соединенных последовательно, но через параметрический стабилизатор напряжения, в котором можно использовать стабилитрон КС139А или КС147А.

Такое электромузыкальное устройство может стать твоим подарком младшему брату или сестре, а ты в будущем займешься постройкой более сложного ЭМИ.

КОРОТКО О МОНТАЖЕ МИКРОСХЕМ И МЕРАХ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Бóльшая часть микросхем, с которыми тебе придется сталкиваться, имеет пластмассовый прямоугольный корпус с пластинчатыми выводами, расположенными двумя рядами вдоль длинных сторон корпуса (рис. 166). Наиболее приемлемый метод монтажа — печатный. Микросхемы размещают на плате со стороны, свободной от фольги, выводы пропускают через отверстия в плате и припаивают к контактным площадкам печатных проводников. Диаметр отверстий для выводов должен быть 0,5...0,6 мм, расстояния между центрами отверстий — 2,5 мм, между центрами отверстий в рядах —

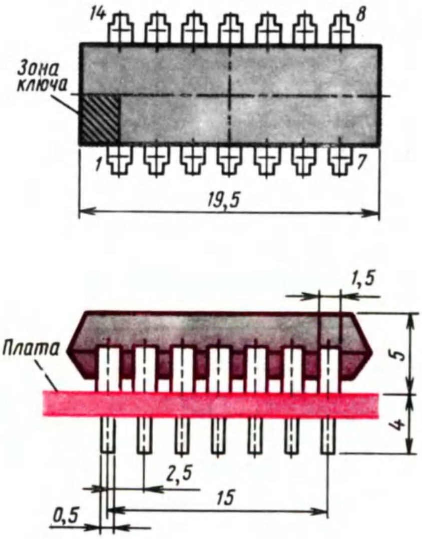


Рис. 166. Монтаж микросхемы

7,5 мм. В зависимости от условий «рисунка» печатных проводников отверстия в рядах выводов можно располагать в шахматном порядке. Чтобы не размечать всякий раз отверстия на плате, целесообразно сделать из листового металла один-два шаблона с отверстиями (контуктор), через которые можно сверлить отверстия в монтажной плате.

Перед монтажом микросхемы можно проводить формовку ее выводов — изгибать с учетом удобства размещения на плате самой микросхемы и соединения выводов с другими деталями устройства. Но расстояние между местом изгиба вывода и корпусом должно быть не менее 6...8 мм. И делать это надо без значительных усилий, чтобы не нарушить соединения между выводом и контактной площадкой внутри микросхемы.

Перед монтажом выводы микросхемы необходимо облудить, чтобы не делать этого после установки ее на плате. Длительность облуживания и сама пайка каждого вывода не должна превышать 3...5 с. А повторную пайку вывода, если в этом появляется необходимость, можно производить не ранее чем через 2...3 мин.

Многие микросхемы, как и полевые транзисторы, могут быть повреждены электростатическими зарядами, о чем мы уже говорили в пятой беседе. Чтобы предотвратить выход из строя микросхемы из-за попадания на ее выводы электростатического заряда, надо, чтобы электрические потенциалы монтажной платы, электропаяльника и тела самого монтажника были одинаковыми. Для этого на ручку паяльника следует намотать несколько витков неизолированного медного провода или закрепить на ней жестяную пластинку и через резистор сопротивлением 100...200 кОм соединить проводником с жалом и всеми другими металлическими деталями паяльника. Касание нагретым паяльником каждого вывода микросхемы должно быть по возможности кратковременным — не более 3 с, а сам электропаяльник в это время должен быть отключен от электросети. Не выполнение этих в общем-то несложных требований может привести к повреждению микросхемы.

⁂

Полагаю, что эта беседа дала тебе начальные знания об аналоговых и цифровых микросхемах, а те простые устройства, которые, надеюсь, ты опробовал, помогли закрепить эти знания на практике. Но разговор о микросхемах и применении их не закончен и будет продолжен в других беседах. А цифровым микросхемам и устройствам на них, кроме того, будет посвящена специальная беседа — четырнадцатая.

БЕСЕДА ДЕСЯТАЯ

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ

Любой приемник, усилитель или электроизмерительный прибор, в которых работают транзисторы или микросхемы, можно питать как от химических источников постоянного тока — гальванических элементов, аккумуляторов или батарей, составленных из них, так и от электроосветительной сети переменного тока. Все зависит от того, какой это приемник или усилитель. Если, например, приемник малогабаритный, как часто говорят «карманный», и рассчитан на питание от источника постоянного тока напряжением 4,5...9 В, для него обычно используют гальванические элементы или батареи. А если транзисторный усилитель предназначен для воспроизведения звукозаписи при совместной работе с сетевым электропроигрывающим устройством, то питать его целесообразно от электроосветительной сети.

С некоторыми элементами и батареями ты практически уже знаком. А как устроены и работают эти химические источники постоянного тока? Как транзисторный приемник, усилитель или иное радиотехническое устройство или прибор питать от сети переменного тока? Вот на эти и некоторые другие вопросы, связанные с источниками тока для питания конструируемых тобой радиотехнических устройств, я и хочу ответить в этой беседе.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

С устройством простейшего гальванического элемента я познакомил тебя еще в первой беседе (см. рис. 7). Электродами такого элемента служат разнородные металлические пластинки, а электролитом — раствор кислоты. Это вполне работоспособный химический источник постоянного тока. Но он имеет два существенных недостатка. Первый недостаток заключается в том, что электролит элемента — едкая жидкость, которую можно пролить, расплескать. Второй недостаток — заметное влияние на работу элемента явления поляризации. Сущность поляризации заключается в следующем: в результате непрерывного разложения электролита током, протекающим внутри элемента, на положительном электроде оседают в виде пузырьков положительные ионы водорода, образуя на нем газовую пленку, препятствующую движению электрических зарядов. Оба этих недостатка простейшего жидкостного элемента устранены в тех сухих гальванических элементах, которыми ты уже пользовался и будешь их использовать для питания своих конструкций.

Ты, уверен, не раз разбирал разрядившуюся батарею 3336, чтобы посмотреть, что находится под защитным слоем бумаги. Там три элемента, которые изолированы один от другого картонными прокладками. Сверху элементы защищены мастикой черного цвета — смолкой. Удалив смолку, ты увидишь графитовые стержни с металлическими колпачками, выступающие из цинковых стаканчиков. Графитовые стержни — это выводы положительных электродов, а цинковые стаканчики — отрицательные электроды элементов.

Чтобы рассмотреть внутреннее устройство элемента, придется осторожно разрезать по длине и отогнуть края цинкового стаканчика. Графитовый стержень находится в мешочке, наполненном спрессованной смесью толченого угля, порошка графита и двуокиси марганца. Это — деполяризатор. А электролитом служит студенистая паста, заполняющая просранство между деполяризатором и стенками стаканчика, представляющая собой раствор нашатыря с примесью крахмала и муки. Во время работы элемента выделяющийся водород соединяется с кислородом, содержащимся в двуокиси марганца деполяризатора, в результате чего поляризация не наступает. Сухой элемент работает до тех пор, пока от действия химической реакции не разрушится цинковый электрод и не изменится химический состав электролита и деполяризатора.

Наша промышленность выпускает более десятка типов цилиндрических стаканчиковых элементов, предназначаемых для питания маломощных электродвигателей, различной осветительной и радиоэлектронной аппаратуры. Для питания же промышленных и радиолюбительских транзисторных переносных приемников, магнитофонов, измерительных приборов наиболее широко используются элементы 373, 343, 332 и 316 (рис. 167). От элементов 336, из которых состоит батарея 3336, они отличаются только размерами.

Один гальванический элемент независимо от его конструкции развивает напряжение около 1,5 В. Ток же, который можно потреблять от элемента, определяется главным образом размерами его электродов и обычно не превышает 0,2...0,3 А.

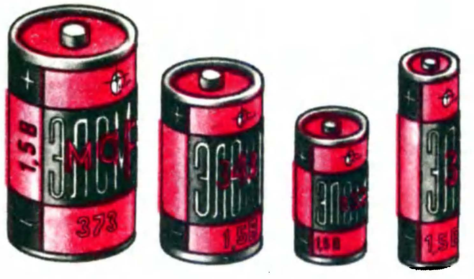


Рис. 167. Гальванические элементы 373, 343, 332 и 316

Для обозначения гальванических элементов и батарей, составляемых из гальванических элементов, применяют в основном цифровую систему. Первые две цифры в обозначении стаканчиковых элементов (от 20 до 49) в зашифрованном виде характеризуют форму, размеры и электрохимический состав элемента. Третья цифра служит шифром высоты элемента. Но учти, эти цифры являются только условным шифром и не могут служить указателем на конкретные размеры в единицах длины.

Обозначение батареи, образованной последовательным соединением элементов, состоит из шифра элементов и числа элементов в батарее. При этом цифру, соответствующую числу элементов в батарее, ставят перед шифром обозначения ее элементов. Батарея 3336, например, состоит из трех элементов 336, поэтому в ее обозначении перед шифром элементов стоит цифра 3. Для некоторых батарей за цифрами обозначения ставят букву У, Х или Л, указывающую на рекомендуемый температурный режим эксплуатации: У — универсальная, Х — хладостойкая, Л — летняя. Летнюю батарею рекомендуется эксплуатировать при окружающей температуре 0 – плюс 50° С, а хладостойкую — до минус 40° С. При пониженной температуре гальванические элементы и батареи разряжаются быстрее, чем при нормальной. Например, продолжительность работы батареи 3336Л при температуре минус 10° С и батареи 3336Х при температуре минус 20° С в 3 — 4 раза меньше, чем в рекомендуемых температурных условиях. Для питания конструируемых тобой приемников пригодны батареи 3336 с любым буквенным индексом в конце обозначения.

В некоторых батареях, например в батарее «Крона ВЦ», элементы имеют форму галеты, поэтому их называют элементами галетного типа. Внешний вид такой батареи и устройство ее элементов изображены на рис. 168. Отрицательным электродом элемента служит цин-

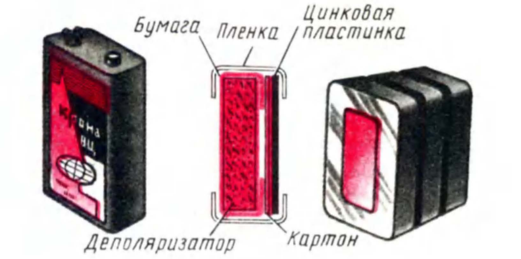


Рис. 168. Батарея «Крона ВЦ» и гальванический элемент галетного типа (в увеличенном виде)

ковая пластинка, а положительным — поляризационная масса, состоящая из смеси двуокиси марганца и графита, которая обернута тонкой пористой бумагой. Между электродами имеется картонная прокладка. Галету пропитывают электролитом и прочно стягивают тонкой пленкой эластичного пластиката. При сборке батареи отдельные галеты укладывают в виде столбика и сжимают. При этом края пластиковых пленок плотно прилегают одна к другой, образуя сплошную оболочку столбика, предохраняющую от испарения воды из электролита. В батарее «Крона ВЦ» семь соединенных последовательно элементов, начальное напряжение батареи 9 В.

Справочную таблицу гальванических элементов, наиболее широко используемых радиолюбителями для питания конструкций, ты найдешь в конце книги (см. приложение 5). Поясню основные сведения, касающиеся начальных характеристик и режима разрядки элементов и батарей.

Начальное напряжение $U_{нач}$ — это напряжение между полюсами свежеизготовленного, не бывшего в употреблении элемента (батареи) при подключении к нему внешней цепи (нагрузки $R_н$) сопротивлением, указанным в графе «Режим разрядки». Продолжительность работы, выраженная в часах, характеризует время, в течение которого напряжение источника тока, разряжаемого на нагрузку заданного сопротивления, уменьшается до конечного напряжения $U_{кон}$. Например, начальное напряжение элемента 343 при подключении к нему внешней цепи сопротивлением 20 Ом равно 1,4 В. Это напряжение при непрерывной разрядке элемента в течение 12 ч уменьшается до конечного напряжения, соответствующего 0,85 В. Элемент (батарея), напряжение которого снизилось до конечного $U_{кон}$, считается разряженным и для дальнейшей эксплуатации непригодным.

По сопротивлению внешней цепи, указанному в графе «Режим разрядки», можно судить о токах элементов и батарей, при которых они наиболее эффективно отдают свои электрические емкости (в ампер-часах) нагрузкам. Например, элемент 343 во внешней цепи сопротивлением 20 Ом создает (по закону Ома) ток, равный: $I = 1{,}55/20 \approx 0{,}08$ А, т. е. 80 мА. Разряжаясь таким током до конечного напряжения, элемент сможет работать непрерывно 12 ч. При подключении нагрузки меньшего сопротивления ток разрядки элемента пропорционально увеличивается, из-за чего длительность его работы уменьшается. Кроме того, при интенсивной разрядке элемент не отдаст всей своей электрической емкости. И наоборот, с увеличением сопротивления нагрузки ток разрядки элемента уменьшается, а длительность непрерывной работы возрастает.

Но приемник или усилитель работает не непрерывно, да и потребляемый им ток даже во время работы не постоянен, а изменяется с частотой и амплитудой усиливаемого сигнала, поэтому и длительность действия питающего его источника постоянного тока практически всегда больше, чем та, что значится в таблице.

В предпоследней графе этой таблицы указаны сроки сохранности элементов и батарей. Имей в виду, что к концу этих сроков их напряжение и электроемкость за счет саморазряда снижаются на 15...20%.

Для питания подавляющего большинства конструируемых тобой транзисторных приемников и измерительных приборов, потребляющих при напряжении 4,5...9 В сравнительно небольшие токи, годятся батареи 3336, «Крона ВЦ», а также элементы, которые можно соединять в батареи. Все они вполне подойдут по разрядному току. Надо лишь выбрать те из них, которые обеспечивают нужные напряжения. Но для некоторых конструкций, как, например, туристский радиоузел, переносная радиола, требуются источники питания напряжением до 12 В и, кроме того, позволяющие потреблять от них токи, превышающие допустимые разрядные. В таких случаях прибегают к соединению элементов в батарею, обеспечивающую требуемые напряжение и ток.

Существуют два основных способа соединения элементов в батареи: последовательное и параллельное. Последовательное соединение элементов в батарею показано на рис. 169, *а*. Здесь положительный полюс правого элемента — плюс батареи, а отрицательный полюс левого элемента — минус батареи. Именно так соединены элементы батарей 3336.

При последовательном соединении элементов напряжение батареи равно сумме напряжений всех входящих в нее элементов. Если, например, соединить последовательно три элемента, каждый из которых дает напряжение 1,5 В, то напряжение батареи будет 4,5 В. От такой батареи можно потреблять ток значением не

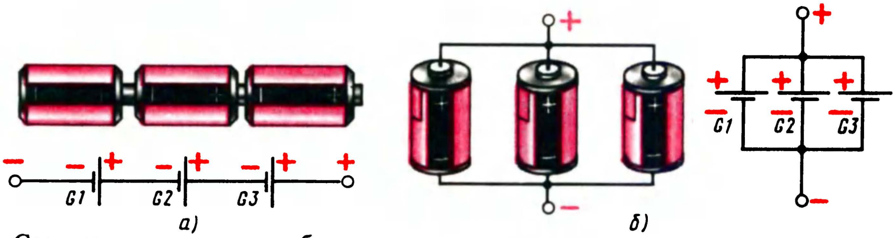


Рис. 169. Соединение элементов в батарею

больше, чем может дать каждый в отдельности взятый элемент. Когда нужно получить больший ток, чем может дать один элемент, их соединяют в батарею одноименными полюсами — параллельно, как показано на рис. 169, *б*. Такая батарея может дать во столько раз больший ток, чем один элемент, сколько элементов соединено в батарею. Если, например, один элемент может отдавать ток 0,1 А, а требуется ток 0,5 А, нужно параллельно соединить пять элементов. Напряжение такой батареи равно напряжению одного элемента.

Теперь хочу дать два полезных совета:

1. Никогда не испытывай годность элементов или батарей «на искру». Такие «испытания» даже при кратковременном замыкании источников тока резко снижают их запас энергии!

2. Часто в сухом элементе высыхает электролит и он перестает давать ток. Такой элемент можно «оживить». Для этого в его верхней смоляной заливке просверли два отверстия и через одно из них налей в элемент дистиллированной или дождевой воды. Если стакан цинкового электрода не разъеден и не пропускает воду, в элементе образуется электролит и он снова будет давать ток. Доливать воду можно несколько раз, пока не разрушится цинковый стакан.

АККУМУЛЯТОРЫ И АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Аккумуляторы называют вторичными источниками тока. Это значит, что они не сами вырабатывают ток, как гальванические элементы, а только отдают электрическую энергию, накопленную ими во время зарядки их другим источником постоянного тока. Аккумуляторы допускают многократные зарядки и разрядки, чем они выгодно отличаются от гальванических элементов. Для питания переносной радиоаппаратуры и измерительных приборов наша промышленность выпускает герметичные малогабаритные кадмиево-никелевые аккумуляторы. Они имеют форму диска величиной с двух-трехкопеечную монету и напоминают внешним видом пуговицу. Поэтому, видимо, радиолюбители часто называют их пуговичными аккумуляторами.

Устройство дискового кадмиево-никелевого аккумулятора показано на рис. 170, *а*. Он собран в стальной никелированной банке, состоящей из двух частей — корпуса 1 и крышки 2. Эти части изолированы эластичной герметизирующей прокладкой 4 и являются контактными выводами полюсов аккумулятора:

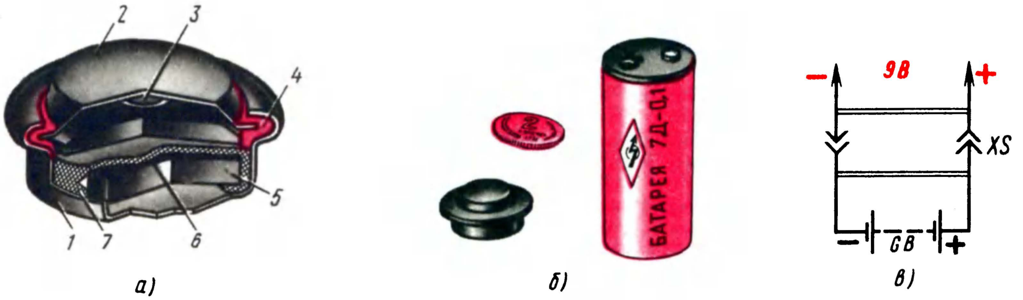


Рис. 170. Устройство малогабаритного кадмиево-никелевого аккумулятора (*а*), внешний вид аккумулятора и аккумуляторной батареи 7Д-0,1 (*б*) и схема подключения батареи к потребителю тока (*в*)

крышка — отрицательного, сам корпус — положительного. Внутри находятся электроды, разделенные сеткой 7 и пористой изоляционной прокладкой-сепаратором 6. Электроды сжимаются пружиной 3, что придает всей конструкции жесткость. При сборке банку аккумулятора наполняют электролитом.

Наиболее распространены аккумуляторы типов Д-0,06, Д-0,1 и Д-0,25. Буква Д в названии означает «дисковый», а цифры показывают электрическую емкость аккумулятора, выраженную в ампер-часах. Эти аккумуляторы различаются только размерами. Чем аккумулятор больше, тем больше его электрическая емкость. Самый большой из них — аккумулятор Д-0,25 — имеет в диаметре 20 мм.

Напряжение свежезаряженного аккумулятора равно 1,25 В. Аккумулятор считается разряженным, когда его напряжение снизится до 0,7...1 В. Разряженный аккумулятор надо зарядить, пропуская через него постоянный ток, равный примерно десятой части емкости аккумулятора в течение 12 ч. При зарядке аккумулятора его электроды соединяют с одноименными полюсами источника постоянного тока.

Кроме отдельных элементов, в магазинах, торгующих радиотоварами, можно приобрести аккумуляторную батарею 7Д 0,1 (рис. 170, *б*), предназначенную для питания малогабаритной аппаратуры. Она состоит из семи (цифра 7 в названии батареи) аккумуляторов типа Д-0,1, соединенных последовательно; начальное напряжение свежезаряженной батареи 9 В. Рекомендуемый ток разрядки батареи 7Д-0,1 не более 20 мА. Если номинальную емкость батареи разделить на среднее значение тока, потребляемого нагрузкой, получившийся результат будет ориентировочным временем непрерывной работы батареи.

Обращаю внимание на конструкцию полюсных выводов батареи: отрицательный сделан в виде гнезда, а положительный в виде штепселя, к которым подключают соединительную колодку с аналогичными им контактами. Они образуют штепсельный разъем XS (рис. 170, *в*), через который напряжение батареи подается в цепи питающегося от нее устройства. Точно также, между прочим, устроены выводные контакты батареи «Крона ВЦ». Разные конструкции выводов исключают ошибочную полярность подключения таких батарей к их нагрузкам.

Аккумуляторную батарею, подобную батарее 7Д-0,1, можно составить из нескольких аккумуляторов Д-0,06, Д-0,1 или Д-0,25, соединив их последовательно. Напряжение батареи будет равно сумме напряжений всех входящих в нее аккумуляторов. Компактная батарея получится из аккумуляторов, если ее аккумуляторы поместить в пластмассовую или картонную трубку подходящего диаметра, как показано на рис. 171. Пружинные контакты такой батареи прижмут аккумуляторы друг к другу и одновременно будут служить ее полюсными выводами.

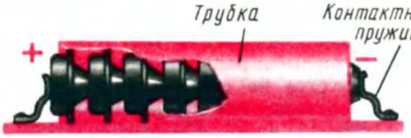


Рис. 171. Батарея, составленная из малогабаритных аккумуляторов

Основные данные дисковых аккумуляторов и аккумуляторной батареи 7Д-0,1, а также рекомендуемые режимы зарядки и разрядки их ты найдешь в приложении 6.

Заряжать дисковые аккумуляторы и составленные из них батареи можно от блока питания транзисторных конструкций через резистор, гасящий избыточное напряжение. Но для этой цели можно смонтировать простое зарядное устройство, например, по схеме, приведенной на рис. 172. Это бестрансформаторный однополупериодный выпрямитель на диоде Д226Б или Д7Ж (VD1) Резисторы R1 и R2, включенные в цепь выпрямителя, гасят избыточное напряжение переменного тока. В сети напряжением 220 В работают оба резистора, суммарное сопротивление которых составляет 9 кОм. Если же устройство подключают к сети напряжением 127 В, то резистор R2 замыкают накоротко выключателем SA1. При этом избыточное напряжение гасится только резистором R1.

Если будешь пользоваться сетью напряжением 127 В, то резистор R2 и выключатель SA1 можешь исключить, а если сетью 220 В, то вместо двух резисторов поставь один резистор сопротивлением 9,1 кОм; выключатель в этом случае тоже не нужен.

С номиналами резисторов, указанными на схеме, ток зарядки аккумулятора составит около 10 мА. Для получения тока зарядки другого значения необходимо изменить сопротивления резисторов R1 и R2. Аккумулятор считается заряженным, когда его напряжение достигнет 1,25...1,3 В. Превышать рекомендуемый ток

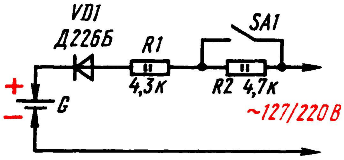


Рис. 172. Бестрансформаторный выпрямитель для зарядки дисковых аккумуляторов

зарядки того или иного аккумулятора не следует — можно испортить его.

Если для питания радиотехнического устройства используется не один, а несколько аккумуляторов, соединенных последовательно в батарею, заряжать надо целиком батарею (как батарею 7Д-0,1), а не каждый элемент в отдельности, обеспечивая надежные контакты между ними. Ток зарядки остается таким же, как для одного аккумулятора.

Перехожу к использованию электроосветительной сети в качестве источника питания радиоаппаратуры. Начну с выпрямителя.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Однополупериодному выпрямителю, с принципом работы которого ты познакомился в пятой беседе, присущи два существенных недостатка. Первый из них заключается в том, что напряжение выпрямленного тока равно примерно напряжению сети, в то время как для питания конструкций на транзисторах и микросхемах необходимо значительно более низкое напряжение. Второй недостаток — недопустимость присоединения заземления к приемнику или усилителю, питаемому от такого выпрямителя. Если приемник заземлить, ток из электросети пойдет через его цепи в землю — могут сгореть детали приемника, перегореть предохранители. Кроме того, приемник или усилитель, питаемые от такого выпрямителя и, таким образом, имеющие прямой контакт с электросетью, опасны — можно получить электрический удар.

Оба этих недостатка устранены в двухполупериодном выпрямителе с трансформатором, схему которого ты видишь на рис. 173. Здесь выпрямляется не напряжение электросети, а напряжение вторичной (II) обмотки трансформатора T, называемого сетевым. Поскольку эта обмотка изолирована от первичной сетевой обмотки I, радиоконструкция не имеет контакта с сетью и к ней можно подключать заземление.

В таком выпрямителе четыре диода, включенные по так называемой мостовой схеме. Диоды являются плечами выпрямительного моста. Нагрузка $R_{\text{н}}$ включена между точками 1 и 2, т. е. в диагональ моста. В таком выпрямителе в течение каждого полупериода работают поочередно два диода противоположных плеч моста, включенных между собой последовательно, но встречно по отношению ко второй паре диодов. Следи внимательно! Когда на верхнем (по схеме) выводе вторичной обмотки положительный полупериод напряжения, ток идет через диод VD2, нагрузку $R_{\text{н}}$, диод VD3 к нижнему выводу обмотки II (график *а*). Диоды VD1 и VD4 в это время закрыты. В течение другого полупериода переменного напряжения, когда плюс на нижнем выводе обмотки II, ток идет через диод VD4, нагрузку $R_{\text{н}}$, диод VD1 к верхнему выводу обмотки (график *б*). В это время диоды VD2 и VD3 закрыты и, естественно, ток через себя не пропускают. И вот результаты: меняются знаки напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора, а через нагрузку выпрямителя идет ток одного направления (график *в*). В таком выпрямителе полезно используются оба полупериода переменного тока, поэтому подобные выпрямители и называют двухполупериодными.

Эффективность работы двухполупериодного выпрямителя по сравнению с однополупериодным налицо: частота пульсаций выпрямленного тока удвоилась, «провалы» между импульсами уменьшились. Среднее значение напряжения постоянного тока на выходе такого выпрямителя равно примерно переменному напряжению, действующему во всей вторичной обмотке трансформатора. А если выпрямитель дополнить фильтром, сглаживающим пульсации выпрямленного тока, выходное напряжение увеличится в 1,4 раза, т. е. примерно на 40%. Именно такой выпрямитель я позже буду рекомендовать тебе для питания транзисторных конструкций.

Сетевые блоки питания своей аппаратуры радиолюбители строят обычно по схеме, по-

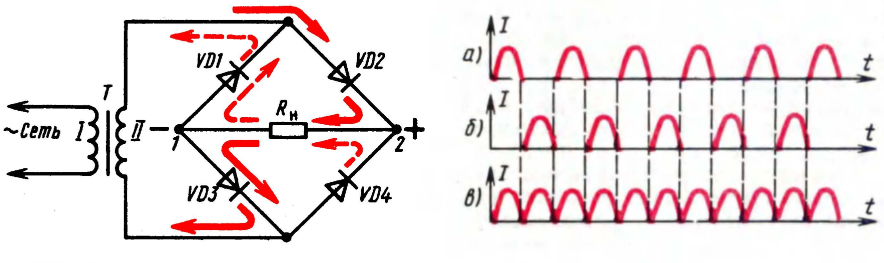


Рис. 173. Двухполупериодный выпрямитель с сетевым трансформатором

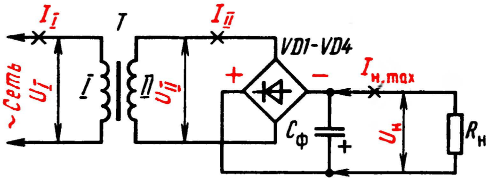


Рис. 174. Схема сетевого блока питания

казанной на рис. 174. Схема его выпрямительного моста аналогична схеме моста выпрямителя по схеме рис. 173. Только там иная полярность диодов и включены они непосредственно в плечи выпрямительного моста, а здесь они заменены изображением диода внутри квадрата, символизирующим выпрямительный мост. Если захочешь проследить весь путь тока, выпрямленного диодами VD1 — VD4, впиши их в стороны квадрата.

Трансформатор Т понижает напряжение электроосветительной сети до некоторого необходимого значения, которое диоды VD1 — VD4, включенные по мостовой схеме, выпрямляют. Конденсатор фильтра $C_ф$, подключенный параллельно диагонали моста, сглаживает пульсации выпрямленного напряжения моста. Резистор $R_н$ символизирует приемник, усилитель ЗЧ или другую нагрузку выпрямителя. Напряжение на конденсаторе $C_ф$, являющемся выходным элементом выпрямителя, равно произведению напряжения вторичной обмотки трансформатора на 1,4 ($\sqrt{2}$).

Сетевой трансформатор — основа блока питания. Но промышленность не выпускает трансформаторы, специально предназначаемые для любительских выпрямителей. Однако можно приобрести серийно выпускаемый блок питания, например БП 1,5...12 В, рассчитанный на питание от сети напряжением 127 и 220 В радиоприемников, магнитофонов и других устройств, потребляющих ток до 200 мА при напряжении от 1,5 до 12 В. Радиолюбители тоже пользуются готовыми блоками питания, но чаще предпочитают самодельные, приспосабливая для них имеющиеся в продаже понижающие трансформаторы или наматывая их сами.

Для выпрямителей сетевых блоков питания лучше всего подходят применяемые в телевизорах выходные трансформаторы кадровой развертки типов ТВК-70, ТВК-110ЛМ-К, ТВК-110-Л и некоторые другие (см. приложение 11). В зависимости от используемого ТВК от блока питания можно получить выпрямленное напряжение от 8...10 до 25...30 В при потребляемом токе до 0,8...1 А. Радиолюбители часто используют в сетевых блоках питания трансформаторы ТВК. Они применены и в некоторых конструкциях, которые я буду тебе рекомендовать.

САМОДЕЛЬНЫЙ СЕТЕВОЙ ТРАНСФОРМАТОР

Но сетевой трансформатор выпрямителя может быть также самодельным, если использовать для него подходящий магнитопровод от какого-то другого трансформатора. Мощность такого трансформатора не должна быть меньше мощности тока, потребляемого нагрузкой выпрямителя. Поясню это на конкретном примере выбора магнитопровода. Предположим, напряжение питания конструируемого тобой усилителя ЗЧ должно быть 12 В при токе 300 мА (0,3 А). Значит, мощность тока, потребляемая усилителем от выпрямителя, будет: $P = U_{II}I_{II} = 12 \cdot 0{,}3 = 3{,}6$ Вт. С учетом некоторых потерь, неизбежных при трансформации переменного тока и его выпрямлении, мощность такого сетевого трансформатора блока питания должна быть не менее 5 Вт. Площадь сечения сердечника магнитопровода, соответствующую необходимой мощности трансформатора, можно определить по упрощенной формуле: $S = 1{,}3\sqrt{P_{тр}}$, где 1,3 — усредненный коэффициент; $P_{тр}$ — мощность трансформатора. Следовательно, для нашего примера площадь сечения магнитопровода трансформатора должна быть не менее: $S = 1{,}3\sqrt{P_{тр}} = 1{,}3\sqrt{5} \approx 3$ см^2. Площадь сечения подобранного магнитопровода будет исходным параметром для расчета числа витков первичной и вторичной обмоток сетевого трансформатора выпрямителя.

Опыт радиолюбительской практики показывает, что наиболее подходящими являются магнитопроводы выходных трансформаторов ламповых радиовещательных приемников и каналов звука телевизоров. Площадь сечения многих из них составляет 4...5 см^2, и любой из них можно использовать для изготовления сетевого трансформатора блока питания. Предпочтение же следует отдать магнитопроводу большего сечения, так как в этом случае меньше витков будет в обмотках, а излишняя мощность трансформатора делу не повредит.

Расчет обмоток будущего сетевого трансформатора веди в таком порядке. Сначала определи площадь сечения подобранного магнитопровода. Для этого толщину пакета (в сантиметрах) умножь на ширину среднего язычка пластин. Затем подсчитай число витков, которое должно приходиться на 1 В напряжения при данном сечении магнитопровода, по такой упрощенной формуле: $w = 50/S$, где w — число витков; S — площадь сечения магнитопровода;

50 — постоянный коэффициент. Получившееся число витков w умножь на напряжение в вольтах, которое подводится к первичной обмотке от вторичной. Произведения этих величин укажут числа витков в каждой обмотке.

Допустим, ты имеешь магнитопровод из пластин Ш-20, толщина набора 25 мм. Значит, площадь сечения магнитопровода равна $2 \times 2{,}5 = 5$ см². Напряжение сети 220 В (по рис. 174 — U_I), вторичная обмотка должна давать переменное напряжение U_{II}, равное, например, 10 В. Узнаем число витков, которое для данного магнитопровода должно приходиться на 1 В напряжения: $w = 50/S = 10$ витков.

Теперь нетрудно определить числа витков в каждой обмотке: в первичной, рассчитанной на напряжение сети 220 В, должно быть $10 \times 20 = 2200$, во вторичной $10 \times 10 = 100$ витков. Если же трансформатор должен включаться в сеть с более низким напряжением, чем 220 В, например в сеть напряжением 127 В, нужно пересчитать только число витков первичной обмотки. Для первичной обмотки можно использовать провод ПЭВ-1 0,12...0,15, для вторичной — ПЭВ-1 0,55...0,62. На каркас наматывай сначала первичную обмотку, а затем вторичную. Провода обмоток укладывай плотными рядами, виток к витку. Между рядами делай прокладки из тонкой бумаги в один-два слоя, а между обмотками — в три-четыре слоя такой же бумаги или в два-три слоя более толстой. Выводы обмоток пропускай через отверстия в щечках каркаса и сразу же делай на нем соответствующие пометки.

Обмотки трансформатора удобно наматывать с помощью простейшего приспособления, показанного на рис. 175. Осью бруска, который плотно входит в окно каркаса трансформатора, служит металлический пруток толщиной 6...8 мм, изогнутый с одной стороны наподобие ручки. Пруток удерживается в отверстиях дощатых стоек. Одной рукой вращаешь ось, а другой укладываешь провод на каркасе. Намотку можно делать и вручную, используя удлиненный брусок с ручкой, которую можно держать в руке. Особое внимание обращай на равномерность и плотность укладки провода и на изоляцию между рядами и обмотками. При невыполнении первого условия требуемое число витков в обмотках может не уместиться на каркасе. А если не будет надежной изоляции между рядами и обмотками, то при включении трансформатора в сеть обмотки могут пробиться — произойдет замыкание между обмотками или витками и трансформатор придется делать заново.

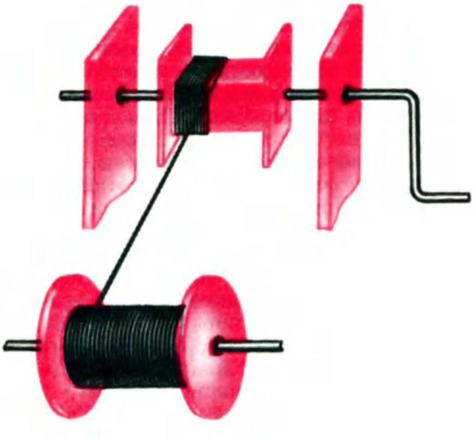


Рис. 175. Приспособление для намотки трансформатора

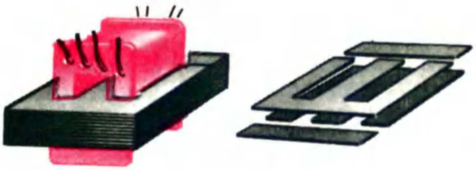


Рис. 176. Сборка магнитопровода трансформатора

Пластины магнитопровода собирай «вперекрышку» (рис. 176) до полного заполнения окна каркаса и стягивай магнитопровод обоймой (или шпильками с гайками, предварительно обернув шпильки бумагой, чтобы через них пластины не замыкались). Плохо стянутый магнитопровод может гудеть.

А теперь...

СЕТЕВОЙ БЛОК ПИТАНИЯ

В этой части беседы я расскажу тебе о законченном блоке питания аппаратуры от сети переменного тока. Конструируемые приемники или усилители ты можешь изменять, упрощать или усложнять, но для их питания будешь использовать один и тот же источник.

Предлагаемый блок питания (рис. 177) представляет собой двухполупериодный выпрямитель со стабилизатором и регулятором выпрямленного напряжения. Напряжение постоянного тока на его выходе можно плавно изменять примерно от 1 до 12 В при токе до 0,5 А. Это значит, что такой блок можно использовать для питания практически любого приемника или усилителя ЗЧ, измерительных приборов.

Разберемся в устройстве и работе блока. Сетевой трансформатор Т1 обмоткой I подключают к электроосветительной сети напряже-

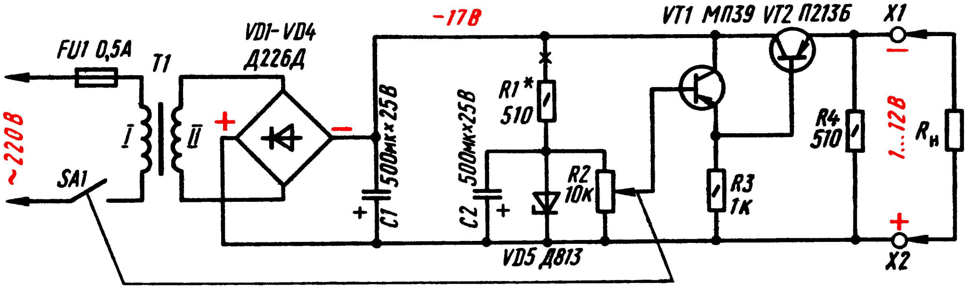


Рис. 177. Принципиальная схема блока питания транзисторных конструкций

нием 220 В через плавкий предохранитель FU1 и выключатель SA1. Обмотка II трансформатора и диоды VD1 — VD4, включенные по мостовой схеме, образуют двухполупериодный выпрямитель. Эта часть блока тебе уже знакома по предыдущей части беседы (см. рис. 174).

Параллельно выпрямительному мосту подключен оксидный конденсатор C1, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения. С него напряжение подается к нагрузке $R_н$ через стабилизатор напряжения, выполняющий функцию дополнительного фильтра выпрямителя и одновременно регулятора выходного напряжения блока питания.

Проследи цепь питания нагрузки $R_н$ (приемник, усилитель), подключаемый к зажимам X1 «—» и X2 «+» блока. Ток в этой цепи, а значит, и напряжение на нагрузке зависят от состояния транзистора VT2, включенного в эту цепь. Когда этот транзистор открыт и сопротивление его участка эмиттер-коллектор мало (несколько ом), все напряжение выпрямителя падает на нагрузке $R_н$. Когда же транзистор закрыт и сопротивление участка эмиттер-коллектор становится большим, то почти все напряжение выпрямителя падает на этом участке, а на долю нагрузки практически ничего не остается. Состоянием же транзистора VT2 управляет транзистор VT1, который, в свою очередь, управляется постоянным напряжением, подаваемым на его базу с движка переменного резистора R2. Оба транзистора включены по схеме ОК (эмиттерные повторители) и работают как двухкаскадный усилитель тока. Нагрузкой транзистора VT1 являются эмиттерный p-n переход транзистора VT2 и резистор R3, а нагрузкой регулирующего транзистора VT2 — цепи нагрузки, подключенной к выходу блока.

Управляющую цепь стабилизатора напряжения образуют параметрический стабилизатор, состоящий из резистора R1 и стабилитрона VD5, и подключенный к нему переменный резистор R2. Благодаря стабилитрону и конденсатору C2 на переменном резисторе (по отношению к стабилитрону он включен потенциометром, т. е. делителем напряжения) действует постоянное напряжение, равное напряжению стабилизации $U_{ст}$ используемого в блоке стабилитрона. В описываемом блоке это напряжение равно 12 В. Когда движок переменного резистора находится в крайнем нижнем (по схеме) положении, управляющий транзистор VT1 закрыт, так как напряжение на его базе (относительно эмиттера) равно нулю. Регулирующий транзистор VT2 в это время тоже закрыт. По мере перемещения движка переменного резистора вверх на базу транзистора VT1 подается открывающее отрицательное напряжение и в его эмиттерной цепи появляется ток. Одновременно отрицательным напряжением, па́дающим на эмиттерном резисторе R3 транзистора VT1, открывается транзистор VT2, и во внешней цепи блока питания появляется ток. Чем больше отрицательное напряжение на базе транзистора VT1, тем больше открываются транзисторы, тем больше напряжение на выходе блока питания и ток в его нагрузке.

Наибольшее напряжение на выходе блока почти равно напряжению стабилизации стабилитрона VD5 (Д813), а наибольший ток, потребляемый нагрузкой от блока, равен удвоенному прямому току диодов выпрямителя. В выпрямителе описываемого блока используются диоды серии Д226, максимальный выпрямленный ток которых составляет 300 мА (0,3 А). Значит, наибольший ток, потребляемый от блока питания нагрузкой, может достигать 600 мА. При изменении тока в нагрузке от нескольких миллиампер до 280...300 мА напряжение на ней остается практически неизменным.

Возможная конструкция блока питания показана на рис. 178, *а*. Штриховыми линиями условно обозначены углы фанерного ящика-корпуса блока. Все детали, кроме переменного резистора R2 с выключателем питания SA1, резистора R4 и выходных зажимов X1 и X2, смонтированы на гетинаксовой плате, которую винтами крепят на дне корпуса.

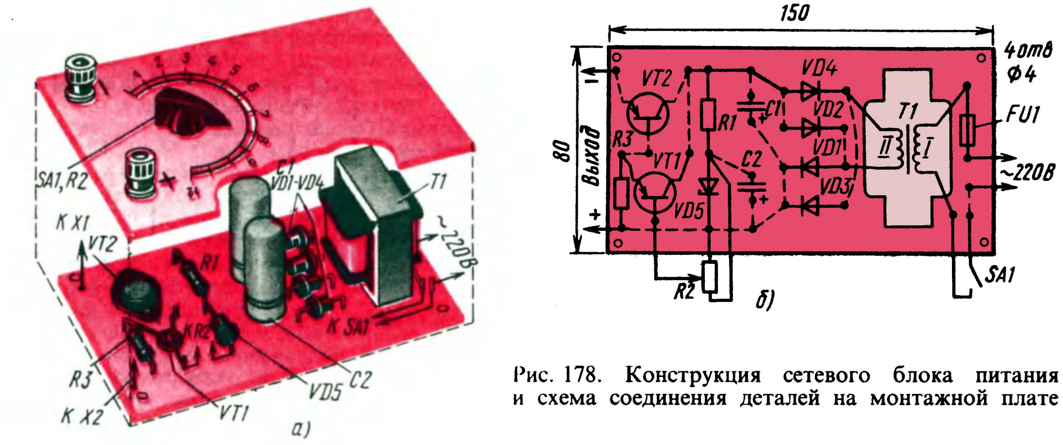


Рис. 178. Конструкция сетевого блока питания и схема соединения деталей на монтажной плате

Ориентировочные размеры этой платы, схема размещения и соединения деталей на ней показаны на рис. 178, *б* (соединительные проводники, находящиеся снизу платы, обозначены штриховыми линиями). Корпус транзистора VT1 находится в отверстии (диаметром 10 мм) в плате. Нижняя часть корпуса транзистора VT2 также находится в отверстии в плате (диаметром 17 мм), сверху он прижат к плате фланцем. Переменный резистор R2 с выключателем SA1 (переменный резистор ТК или ТКД) и выходные зажимы блока укреплены на другой панели, выпиленной из листового гетинакса, стеклотекстолита или иного изоляционного материала толщиной 2...3 мм (в крайнем случае — из фанеры), являющейся крышкой ящика. Они соединяются с соответствующими им точками монтажной панели многожильными проводниками в надежной изоляции. Резистор R4 подпаян непосредственно к выходным зажимам.

Переменный резистор R2 должен быть группы А, т. е. его сопротивление между выводом движка и любым из крайних выводов прямо пропорционально углу поворота оси. Это необходимо для того, чтобы его шкала выходных напряжений была возможно более равномерной. Коэффициент $h_{21э}$ транзисторов может быть небольшим, например 25...30, важно лишь, чтобы они были исправными. Причем вместо транзистора МП39 можно использовать любые другие маломощные низкочастотные транзисторы (МП40 — МП42), а вместо П213Б — транзисторы П214 — П217 с любым буквенным индексом. Резисторы R1, R3 — типа МЛТ на любую мощность рассеяния. Оксидные конденсаторы — К50-6. Их емкости могут быть больше 500 мкФ, что еще лучше сгладит пульсации выпрямленного тока. Что же касается их номинальных напряжений, то для конденсатора C1 оно должно быть не менее 25 В, а для C2 — не менее 15 В. Стабилитрон VD5 серии Д813 или подобные ему Д811, Д814Г с напряжением стабилизации 12 В. Для самого выпрямителя кроме диодов серии Д226 можно использовать диоды серии Д7, а также выпрямительный блок КЦ402 (содержит четыре кремниевых диода, которые включены мостом) с любым буквенным индексом.

Функцию сетевого трансформатора T1 может выполнять выходной трансформатор кадровой развертки ТВК-70, первичная обмотка которого используется как сетевая. При напряжении сети 220 В на его вторичной обмотке получается переменное напряжение около 12 В, а на выходе выпрямителя (на конденсаторе C1) — постоянное напряжение 16...17 В. Но сетевой трансформатор может быть самодельным, о чем у нас уже был разговор в этой беседе.

Монтируя детали блока питания, особое внимание удели правильной полярности включения диодов, оксидных конденсаторов и выводов транзистора. А закончив монтаж, проверь его по принципиальной схеме — нет ли ошибок, ненужных соединений. Только после этого подключай его к сети и проверяй его работоспособность. Включив питание, сразу же измерь вольтметром постоянного тока напряжение на выходе блока. В положении движка переменного резистора R2 в крайнем верхнем (по схеме) положении оно должно соответствовать номинальному напряжению стабилизации стабилитрона (в нашем случае 12 В) и плавно уменьшаться почти до нуля при вращении оси переменного резистора против направления движения часовой стрелки. Если, наоборот, при таком вращении оси резистора напряжение увеличивается, то поменяй местами проводники, идущие к крайним выводам этого регулятора выходного напряжения блока.

Затем в разрыв цепи стабилитрона, отмеченный на рис. 177 крестом, включи миллиамперметр и, подбирая резистор R1, установи в этой цепи ток, равный 10...12 мА. При подключении к выходу блока нагрузки, роль которой может выполнять проволочный резистор сопротивлением 100...120 Ом, ток через стабилитрон должен уменьшаться до 6...8 мА, а напряжение на эквиваленте нагрузки оставаться практически неизменным.

Может случиться, что при токе 200...250 мА, потребляемом нагрузкой, регулирующий транзистор VT2 станет сильно нагреваться. Тогда его придется установить на теплоотводящий радиатор — Г- или П-образную металлическую пластину площадью 80...100 см^2.

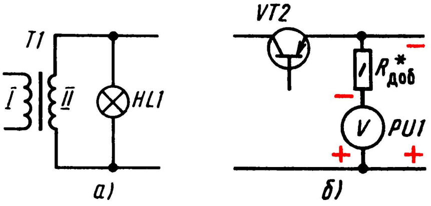
После этого займись градуировкой шкалы переменного резистора R2, по которой в дальнейшем ты будешь устанавливать напряжение, подаваемое к той или иной нагрузке. Делай это так. К выходным зажимам подключи резистор сопротивлением 430...470 Ом, чтобы замкнуть внешнюю цепь блока, и вольтметр постоянного тока. Затем плавно вращай ось переменного резистора и на дуге, начерченной вокруг оси, делай отметки, соответствующие напряжениям, показываемым вольтметром.

На этом налаживание блока питания можно считать законченным.

Какие изменения или дополнения можно внести в такой блок питания?

Может случиться, что у тебя не окажется транзистора П213Б или другого транзистора средней либо большой мощности. Тогда на его место поставь транзистор МП42. Но в этом случае наибольший ток, потребляемый нагрузкой от блока питания, не должен превышать 40...50 мА. На первое время это тебя вполне устроит, а в дальнейшем ты его заменишь мощным транзистором.

Ко вторичной обмотке трансформатора можно подключить коммутаторную лампочку накаливания HL1 (рис. 179,*а*), рассчитанную на напряжение 12 В, и укрепить ее на верхней лицевой панели. Она, загораясь, будет служить индикатором подключения блока к сети.



а) б)

Рис. 179. Введение в сетевой блок индикатора включения питания (*а*) и вольтметра выходного напряжения (*б*)

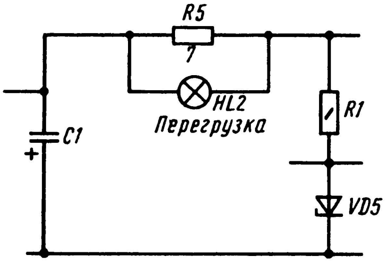


Рис. 180. Введение в сетевой блок питания сигнализатора перегрузки

Блок можно дополнить вольтметром и по нему вместо шкалы переменного резистора устанавливать необходимое выходное напряжение. Схема подключения измерительного прибора к выходу блока показана на рис. 179,*б*. Для этой цели подойдет любой малогабаритный прибор магнитоэлектрической системы, например М5-2 на ток 1...5 мА. Примерное сопротивление добавочного резистора $R_{доб}$, ограничивающего ток через вольтметр PU1, рассчитай по формуле, вытекающей из закона Ома: $R = U/I$, здесь U — наибольшее напряжение на выходе блока питания, а I — наибольший ток, на который рассчитан измерительный прибор. Например, если прибор на ток 5 мА, а напряжение на выходе блока 12 В, резистор $R_{доб}$ должен быть сопротивлением около 2400 Ом. Шкалу прибора градуируй по образцовому вольтметру.

Вольтметр, как и переменный резистор, можно разместить на лицевой панели блока.

В блок питания можно ввести также индикатор перегрузки. Дело в том, что транзисторы, работающие в стабилизаторе напряжения, не выдерживают перегрузкок. Наиболее опасно короткое замыкание между выходными зажимами или между токонесущими проводниками конструкции, подключенной к блоку. В этом случае через регулирующий транзистор VT2 блока может течь недопустимо большой для него ток, из-за чего может произойти тепловой пробой транзистора и он выйдет из строя.

Простейший индикатор перегрузки, схема которого показана на рис. 180, представляет собой параллельно соединенные резистор R5 и лампу накаливания HL2, которые надо включить в разрыв цепи между фильтрующим конденсатором C1 и параметрическим стабилизатором R1 VD5. По мере роста тока нагрузки будет увеличиваться падение напряжения на нити накала лампы HL2 и резисторе R5.

Сопротивление этого резистора подобрано так, чтобы при токе нагрузки 200...250 мА нить лампы начинала заметно на глаз накаливаться, а при токе более 500 мА ярко светиться, сигнализируя о перегрузке блока питания.

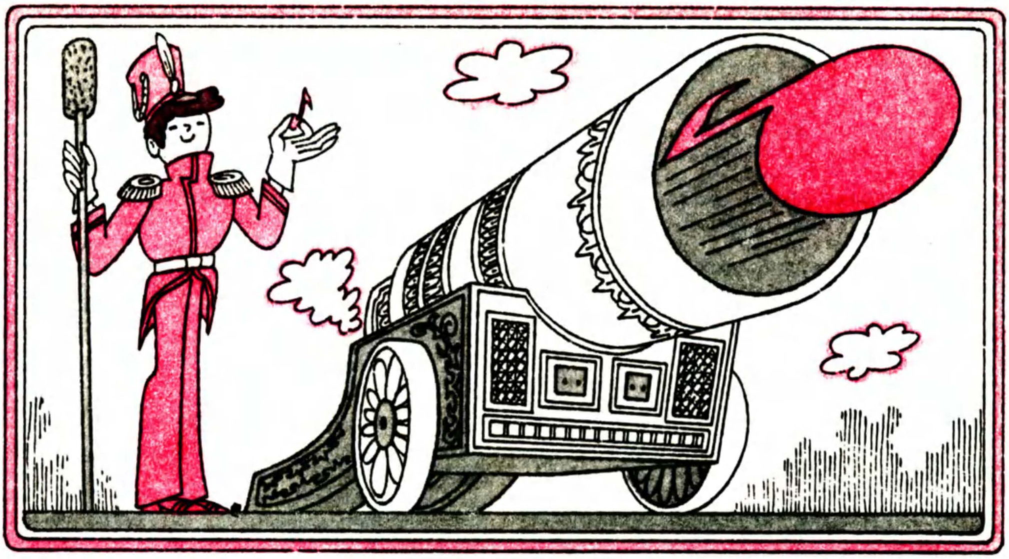
Резистор R5 проволочный, на мощность рассеяния не менее 10 Вт. Используй для него провод высокого сопротивления — манганиновый, нихромовый или константановый толщиной 0,18...0,2 мм. Намотай его на корпус резистора МЛТ-0,5 или МЛТ-1,0. Сигнальная лампа HL2 — коммутаторная КМ6-60 (6 В × 60 мА) или МН6,3-0,26 (6,3 В × 0,26 А). Размести ее на панели с внутренней стороны неподалеку от переменного резистора R2, а отверстие против лампы прикрой красной прозрачной пленкой. Такое несложное сигнальное устройство поможет тебе при перегрузке блока питания предупредить выход из строя транзисторов стабилизатора напряжения.

Блок питания можно также дополнить миллиамперметром и по его показаниям судить о суммарном токе, потребляемом приемником, усилителем колебаний звуковой частоты или другой подключенной к нему нагрузкой. Подойдет любой малогабаритный измерительный прибор магнитоэлектрической системы на ток 200...300 мА. Его, укрепленного на лицевой панели блока, можно включить, соблюдая полярность, в разрыв проводника, идущего от регулирующего транзистора стабилизатора напряжения к выходному зажиму. Он тоже будет служить индикатором перегрузки блока питания.

Всегда ли сетевой блок питания должен иметь стабилизатор напряжения? Нет! Он необязателен, например, для выпрямителя блока питания усилителя ЗЧ повышенной выходной мощности, для некоторых других устройств, не требующих тщательного сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения.

⁂

Прежде чем перейти к конструированию усилителей ЗЧ, источником питания которых тоже может быть электроосветительная сеть, считаю нужным напомнить, что в цепях первичных обмоток трансформаторов их блоков питания действует достаточно высокое напряжение. Поэтому, имея дело с описанным здесь или другим сетевым блоком питания, будь особо внимательным! Не забывай о повышенной опасности при пользовании электросетью!



БЕСЕДА ОДИННАДЦАТАЯ

УСИЛИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Усилитель колебаний ЗЧ — составная часть каждого современного радиоприемника, радиолы, телевизора или магнитофона. Усилитель является основой радиовещания по проводам, аппаратуры телеуправления, многих измерительных приборов, электронной автоматики и вычислительной техники, кибернетических устройств. Но в этой беседе мы поговорим о немногом: об элементах, узлах и работе транзисторных усилителей применительно к очень узкой области радиотехники — для усиления электрических колебаний звуковой частоты и преобразования их в звук.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЯ ЗЧ

Усилителем ЗЧ принято называть совокупность всех элементов и устройств, включая и телефоны или громкоговоритель, обеспечивающие необходимую громкость воспроизведения поданного на его вход электрического сигнала звуковой частоты. Источником этого сигнала может быть, например, выходной сигнал детекторного или транзисторного приемника, что тебе уже знакомо по шестой беседе, звукосниматель, микрофон, магнитная головка магнитофона, звуковая дорожка ленты звукового кинофильма.

Вот как выглядит структурная схема усилителя ЗЧ, предназначенного для воспроизведения грамзаписи (рис. 181). На ней сам усилительный тракт, который может быть транзисторным или на аналоговых микросхемах, обозначен треугольником и буквами DA. Ко входу усилителя подключен звукосниматель BS, а к выходу — динамическая головка прямого излучения BA. Об устройстве и принципе работы звуко-

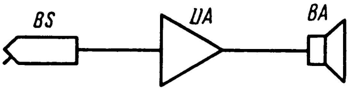


Рис. 181. Структурная схема усилителя ЗЧ для воспроизведения грамзаписи

снимателя и динамической головки ты узнаешь, прочтя следующий раздел этой беседы. Сейчас же я ограничусь лишь наиболее общими понятиями о действии этих концевых элементов усилителя.

Звукосниматель, являющийся преобразователем механических колебаний его иглы в электрические колебания звуковой частоты — обязательная принадлежность каждой радиолы, электрофона. Созданный им сигнал звуковой частоты поступает на вход усилителя DA, усиливается им до мощности, необходимой для нормальной работы головки BA. Головка при этом преобразует усиленный сигнал в звук.

О качестве и пригодности усилителя для тех или иных целей судят по нескольким параметрам, наиболее важными из которых можно считать: выходную мощность $P_{вых}$, чувствительность и частотную характеристику. Это три основных параметра, которые ты должен знать и разбираться в них.

Выходная мощность — это мощность электрических колебаний звуковой частоты, выраженная в ваттах или в милливаттах, которую усилитель отдает нагрузке — обычно динамической головке прямого излучения. В соответствии с установленными нормами (ГОСТ) различают номинальную $P_{ном}$ и максимальную P_{max} мощности. Номинальной называют такую мощность, при которой так называемые нелинейные искажения выходного сигнала, вносимые усилителем, не превышают 3...5% по отношению к неискаженному сигналу. По мере дальнейшего повышения мощности нелинейные искажения выходного сигнала увеличиваются. Ту мощность, при которой искажения достигают 10%, называют максимальной. Максимальная выходная мощность может быть в 5—10 раз больше номинальной, но при ней даже на слух заметны искажения.

Рассказывая об усилителях в этой и других беседах, я, как правило, буду указывать их усредненные выходные мощности и называть их просто выходными мощностями.

Чувствительностью усилителя называют напряжение сигнала звуковой частоты $U_{вх}$, выраженное в вольтах или милливольтах, которое надо подать на его вход, чтобы мощность на нагрузке достигла номинальной. Чем меньше это наряжение, тем, естественно, лучше чувствительность усилителя. Для примера скажу: чувствительность подавляющего большинства любительских и промышленных усилителей, предназначаемых для воспроизведения грамзаписи, составляет 100...200 мВ (примерно такое напряжение развивает пьезокерамический звукосниматель), чувствительность усилителей, работающих от микрофонов, должна быть 1...2 мВ.

Частотную характеристику (или полосу рабочих частот усилителя) выражают графически горизонтальной, несколько искривленной линией, показывающей зависимость напряжения выходного сигнала $U_{вых}$ от его частоты при неизменном входном напряжении $U_{вх}$. Дело в том, что любой усилитель по ряду причин неодинаково усиливает сигналы разных частот. Как правило, хуже всего усиливаются колебания самых низших и самых высших частот звукового диапазона. Поэтому линии — частотные характеристики усилителей — неравномерны и обязательно имеют спады (завалы) по краям. Колебания крайних низших и самых высших частот, усиление которых по сравнению с колебаниями средних частот (800...1000 Гц) падает до 30%, считают границами полосы частот усилителя. Полоса частот усилителей, предназначенных для воспроизведения грамзаписи, может быть от 20 Гц до 20...30 кГц, усилителей сетевых радиовещательных приемников — от 60 Гц до 10 кГц, а усилителей малогабаритных транзисторных приемников — примерно от 200 Гц до 3...4 кГц.

Для измерения основных параметров усилителей нужны генератор колебаний звуковой частоты, вольтметр переменного напряжения, например вольтметр комбинированного прибора, описанного в седьмой беседе, и некоторые другие измерительные приборы, о которых у нас еще будет разговор. Сейчас же — несколько подробнее о звукоснимателях и динамических головках прямого излучения.

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Образно говоря, грампластинки являются «хранителями» музыкальных произведений, опер, эстрадных исполнений, танцевальной музыки. Различают грампластинки монофонические, или, как часто говорят, обычные и стереофонические. Для воспроизведения грамзаписи используют соответственно монофонические и стереофонические звукосниматели. В свою очередь по устройству и принципу работы различают магнитные (или электромагнитные) и пьезоэлектрические (или пьезокерамические) звукосниматели.

Упрощенное устройство и схематическое изображение магнитного монофонического звукоснимателя показаны на рис. 182. Звукосниматель этой системы имеет сильный подковообразный постоянный магнит с С-образными полюсными наконечниками 5. Между полюсными наконечниками находится катушка 3, намотанная из тонкого изолированного провода, а внутри катушки — якорь 2. Выступающая вниз часть якоря заканчивается иглой 1. Якорь удерживается в нейтральном положении надетой на него эластичной резиновой трубкой 4. Если кончик иглы отклонить вправо, то противоположный конец якоря отклонится влево. И наоборот, если кончик иглы отклонить влево,

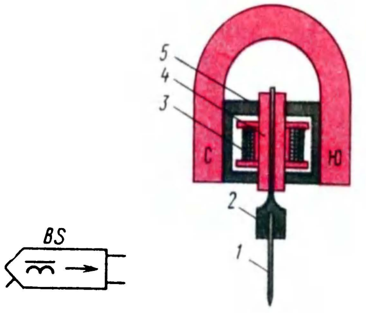


Рис. 182. Упрощенное устройство и графическое обозначение магнитного монофонического звукоснимателя

то противоположный конец якоря отклонится вправо. Каждое колебание якоря вызывает изменение состояния магнитного поля в зазоре полюсных наконечников, а изменяющееся магнитное поле возбуждает в катушке переменное напряжение.

Рассматривая внимательно граммофонную пластинку, ты, конечно, видел на ней зигзагообразную бороздку, идущую по спирали. Эта бороздка — «рисунок» звука, записанного на пластинке. При проигрывании пластинки кончик иглы звукоснимателя, следуя за всеми извилинами бороздки, колеблет якорь, поток магнитных силовых линий в нем изменяется, и в катушке возбуждается переменное напряжение звуковой частоты. При самых громких записанных звуках оно не превышает 100...150 мВ. Но если это напряжение усилить, то электродинамическая головка, включенная на выходе усилителя, будет громко воспроизводить звук, записанный на грампластинке.

Рассмотри условное графическое обозначение этого звукоснимателя на схемах. Его контур в виде «утюжка» — символическое изображение всех преобразующих головок, т. е. приборов, с помощью которых считывают или записывают звук на грампластинке или магнитной ленте магнитофона. Черточка в левой нижней части — «игла» и стрелка, идущая в сторону выводов, превратили его в символ акустической головки воспроизведения — звукосниматель. А упрощенный символ катушки с сердечником говорит о том, что звукосниматель магнитный.

Механизм пьезоэлектрического монофонического звукоснимателя в упрощенном виде показан на рис. 183, *а*. Его основой является пьезоэлектрический элемент 4 — пластина из специальной керамики, обладающей пьезоэлектрическими свойствами: при изгибании создает электрические заряды. Пьезоэлемент через поводок 3 соединен с иглодержателем 2. При проигрывании грампластинки игла 1, скользя по извилинам звуковой канавки, колеблется, а пьезоэлемент изгибается из стороны в сторону. При этом на поверхностях пьезоэлемента возникают электрические заряды, которые через выводные проводники 5 могут быть поданы на вход усилителя, а после усиления преобразованы в звук.

Пьезоэлектрический способ преобразования механических колебаний иглы в электрический сигнал обозначают внутри «утюжка» вытянутым прямоугольником, символизирующим пластину керамики, с двумя черточками, изображающими ее обкладки.

Пьезоэлемент звукоснимателя можно рассматривать как конденсатор, на обкладках которого при проигрывании грампластинки создается переменное напряжение звуковой частоты. Внутреннее сопротивление такого источника сигнала исчисляется мегаомами, что требует особого подхода к согласованию его с входным сопротивлением усилителя.

Пьезоэлектрические звукосниматели развивают напряжение звуковой частоты до 200...300 мВ. Они проще по конструкции, чем магнитные звукосниматели, и легче. Их иглодержатели пластмассовые, а закрепленные в них иглы — корундовые. Вместе с изношенными иглами иглодержатели легко заменяются новыми. Обычно иглодержатель имеет две иглы, расположенные под углом по отношению друг к другу. Одна из них рассчитана для проигрывания обычных, другая — долгоиграющих грампластинок. Смена иглы для проигрывания той или иной грампластинки происходит поворотом иглодержателя.

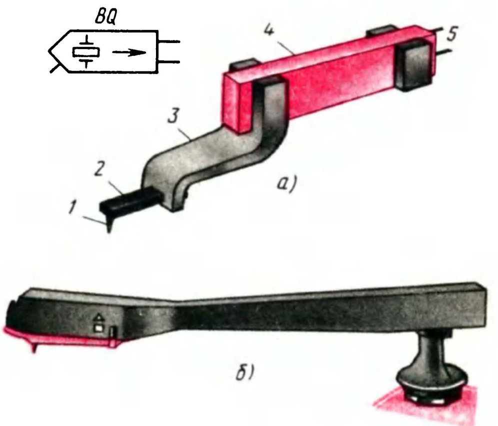


Рис. 183. Устройство пьезокерамического звукоснимателя (*а*) и внешний вид тонарма (*б*) с головкой звукоснимателя

Конструктивное оформление звукоснимателей разнообразно. Чаще всего их магнитные или пьезоэлектрические головки монтируют в пластмассовых или металлических держателях, называемых тонармами. Одна из возможных конструкций тонарма с пьезоэлектрической головкой звукоснимателя для проигрывания монофонических грампластинок показана на рис. 183, *б*.

С принципом работы стереофонической головки звукоснимателя я познакомлю тебя в беседе, посвященной стереофонии.

ГОЛОВКИ ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Электромагнитный телефон, подключенный к выходу детекторного или однотранзисторного приемника, излучает энергию звуковых колебаний. В нем роль непосредственного, т. е. прямого, излучателя выполняет вибрирующая мембрана. Первыми мощными излучателями звуковой энергии были электромагнитные громкоговорители или, как их тогда называли, репродукторы «Рекорд». Сейчас их, похожих на большие неглубокие черные тарелки, можно увидеть лишь в музеях или кинофильмах. Им на смену пришли более мощные излучатели звуковой энергии — электродинамические головки с бумажными диффузорами, которые прежде называли электродинамическими громкоговорителями, или сокращенно динамиками. Сейчас их принято называть головками динамическими прямого излучения, а громкоговорителем — совокупность всех выходных элементов звуковоспроизводящего устройства.

Примером звуковоспроизводящего устройства может быть, например, абонентский громкоговоритель, рассчитанный на работу от радиотрансляционной сети. В него кроме головки динамической прямого усиления входят еще ящик (корпус), имеющий немаловажное значение для качества звуковоспроизведения, согласующий (переходной) трансформатор и регулятор громкости. Громкоговорители стереофонической аппаратуры радиотехнических комплексов могут иметь по две — три и более головок динамических прямого излучения, усилители с питающими их выпрямителями, различные регуляторы, переключатели.

Теперь, разобравшись в принятой терминологии, касающейся звуковоспроизводящих устройств, поговорим об устройстве и работе головок динамических прямого излучения. Для краткости будем называть их динамическими головками или просто головками. В динамических головках широкого применения излучателями звуковых волн служат конусообразные диффузоры, штампуемые из бумажной массы. Головки, предназначенные для радиофикации улиц, площадей, парков, имеют, как правило, металлические рупоры.

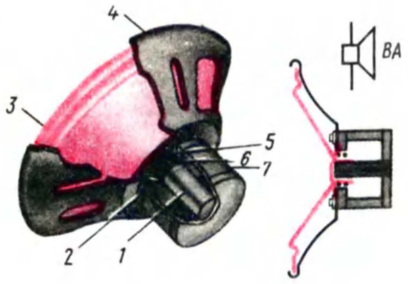


Рис. 184. Устройство и графическое обозначение головки динамической прямого излучения

Устройство динамической головки, применяемой в приемно-усилительной аппаратуре, показано на рис. 184. Электромагнитная система головки устроена так же, как механизм электродинамического микрофона. Между центральным стержнем кольцевого магнита 7 (керном 1) и фланцем 2 (накладкой магнита с круглым отверстием в середине) имеется зазор, в котором создается сильное магнитное поле. В этом зазоре находится катушка 6, намотанная на бумажном каркасе, скрепленном с вершиной бумажного диффузора 3. Ее называют звуковой катушкой. С помощью центрирующей шайбы 5, приклеенной на стыке каркаса звуковой катушки с диффузором, звуковую катушку устанавливают точно в середине магнитного зазора. Благодаря гофрам центрирующей шайбы звуковая катушка может колебаться в магнитном поле, не задевая ни за керн, ни за фланец магнита.

Края диффузора тоже гофрированы, что придает ему подвижность, и приклеены к ободу металлического корпуса 4. Выводы звуковой катушки сделаны гибким изолированным многожильным проводом и снабжены контактными лепестками, укрепленными с помощью изоляционной пластинки на корпусе.

Действует головка так. Пока через звуковую катушку ток не идет, она покоится в середине магнитного зазора. Когда в катушке появляется ток, вокруг нее возникает магнитное поле, которое взаимодействует с полем магнита. При одном направлении тока в катушке она выталкивается из магнитного зазора, а при другом — втягивается в него. При пропускании через катушку переменного тока звуковой частоты катушка колеблется в зазоре с частотой тока. Вместе с катушкой колеблется и диффузор, создавая в воздухе звуковые волны.

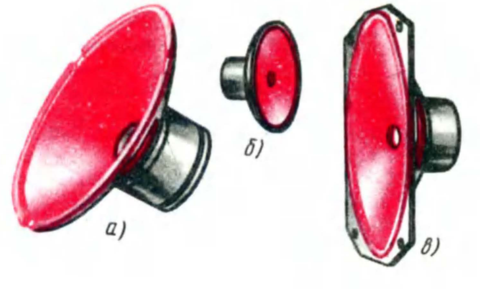


Рис. 185. Головки динамические прямого излучения

Динамические головки различаются размерами, формой диффузора, конструкцией магнитной системы. Многие головки широкого применения имеют круглые диффузоры (рис. 185,*а*) диаметром примерно от 60 до 300 мм. Самые маленькие из них (рис. 185,*б*) используются главным образом в малогабаритных («карманных») приемниках. Есть головки с эллиптическими (овальными) диффузорами (рис. 185,*в*). Такая форма диффузора не улучшает качества звуковоспроизведения, а лишь создает некоторое удобство размещения головки в приемнике, телевизоре, магнитофоне или другом звуковоспроизводящем устройстве.

Магнит может иметь не только кольцеобразную форму, но и квадратную, рамочную.

Ты можешь встретить устаревшую электродинамическую головку с подмагничиванием. Она не имеет постоянного магнита. На керн такой головки надета катушка, содержащая несколько тысяч витков. Ее называют катушкой подмагничивания или возбуждения. Питающий ее постоянный ток образует электромагнит, создающий в кольцевом зазоре, где находится звуковая катушка, магнитное поле. В остальном головка с подмагничиванием ничем не отличается от головки с постоянным магнитом. Головки с подмагничиванием выпускались только для сетевых приемников и усилителей.

Динамические головки маркируют цифрами и буквами, например: 0,1ГД-6, 1ГД-5, 2ГД-40. Первая цифра характеризует номинальную мощность головки, выраженную в ваттах или, что по существу то же самое, в вольт-амперах, т. е. произведением переменного напряжения звуковой частоты, подводимого к звуковой катушке, на ток, протекающий через катушку. Буквы ГД — первоначальные буквы слов «головка динамическая». Следующая за ними цифра — условный порядковый номер конструкции.

Номинальная мощность — это наибольшая мощность тока звуковой частоты, которую можно подводить к звуковой катушке, не опасаясь, что головка будет искажать звуки или быстро испортится. Это наиболее важный параметр, характеризующий головку. Но не путай его с громкостью, т. е. с амплитудой звуковых колебаний. Если взять две головки с номинальными мощностями 1 и 3 Вт, подать к каждой из них по 1 Вт мощности тока звуковой частоты, то звучать они будут практически одинаково громко. Вторая из них будет звучать громче первой только в том случае, если она будет получать ту мощность, на которую рассчитана. Это обстоятельство ты должен учитывать, подбирая головки для своих конструкций.

Второй важный параметр динамической головки — номинальный диапазон рабочих частот, т. е. показатель диапазона звуковых частот, которые головка равномерно и без заметных искажений воспроизводит. Границы этой полосы частот выражают в герцах, например 315...7000 Гц. Головка с такой характеристикой хорошо воспроизводит звуковые частоты от 315 до 7000 Гц и плохо или совсем не реагирует на более низкие (до 315 Гц) и более высокие (выше 7000 Гц) колебания звуковой частоты. Чем шире диапазон рабочих частот, тем головка лучше.

Малогабаритные динамические головки, имеющие диффузоры небольших размеров, в этом отношении всегда уступают головкам с большими диффузорами. Номинальный диапазон рабочих частот головки 0,1ГД-6, например, 450...3150 Гц, а головки 4ГД-35 — от 63 до 12 500 Гц. Частотная характеристика первой головки по сравнению с характеристикой второй хуже. Но нельзя сказать, что она плохая. Для малогабаритного транзисторного приемника, к которому предъявляются более низкие требования, она подходит лучше, чем вторая, предназначенная для приемника или усилителя ЗЧ с более высокими требованиями к качеству звуковоспроизведения.

Эти и некоторые другие параметры динамических головок обычно указывают в паспортах. Они есть и в приложении 12, помещенном в конце книги.

Звуковые катушки большей части динамических головок содержат небольшое число витков, намотанных проводом диаметром 0,15...0,2 мм, поэтому их сопротивление постоянному току мало — всего 4...10 Ом. Рассчитаны они на напряжение звуковой частоты порядка нескольких вольт, но при значительных токах. Звуковые катушки таких головок включают в коллекторные цепи транзисторов не непосредственно, как, скажем, головные телефоны, а через трансформаторы или иные согласующие цепи. Трансформаторы согласуют напряжения и токи усилительных приборов с напряжениями и токами головок. Понижая напряжение до нескольких вольт, они позволяют звуковым катушкам потреблять токи до нескольких ампер.

Согласующие трансформаторы, используемые в приемниках и усилителях ЗЧ, ставят в цепи выходных, т. е. оконечных, мощных усилительных приборов, поэтому их принято называть выходными трансформаторами.

Примером подключения звуковой катушки динамической головки к выходному каскаду усилителя может служить схема, приведенная на рис. 186. Выходной трансформатор T первичной обмоткой включен в коллекторную цепь транзистора VT. Колебания звуковой частоты, усиленные транзистором, возбуждают во вторичной обмотке II такие же колебания, но более низкого, чем в коллекторной цепи, напряжения, которые подаются на звуковую катушку головки BA и преобразуются в звуковые колебания.

Параллельно первичной обмотке выходного трансформатора подключают конденсатор, улучшающий работу усилителя.

Запомни: согласование напряжения и тока звуковой катушки динамической головки и выходной цепи усилительного устройства — обязательное условие для наиболее эффективного использования энергии звуковой частоты, отдаваемой выходным каскадом усилителя головке.

Понижающий трансформатор — неотъемлемая часть и абонентского громкоговорителя. Он согласует напряжение звуковой частоты радиотрансляционной линии с напряжением, обеспечивающим нормальную работу головки. Абонентские громкоговорители, кроме того, снабжают регуляторами громкости.

Один из абонентских громкоговорителей и его схема показаны на рис. 187. Регулятор громкости — переменный резистор R — в этом громкоговорителе включен последовательно со звуковой катушкой динамической головки. Чем меньше сопротивление введенной части резистора, тем звук громче.

Первичные обмотки трансформаторов абонентских громкоговорителей рассчитаны на напряжения звуковой частоты 30 или 15 В. Есть громкоговорители, рассчитанные на оба этих напряжения. Переключение с одного напряжения на другое достигается перепайкой одного из проводов шнура на выводах первичной обмотки трансформатора. Следует отметить, что эти напряжения громкоговорители получают от радиотрансляционной сети при наиболее громкой передаче. Уменьшение громкости снижает ток, потребляемый громкоговорителем, но напряжение радиосети, конечно, остается прежним.

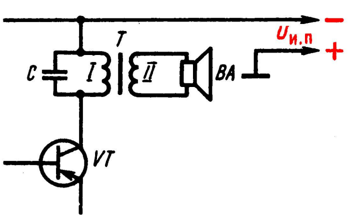


Рис. 186. Схема включения динамической головки в коллекторную цепь транзистора выходного каскада усилителя ЗЧ

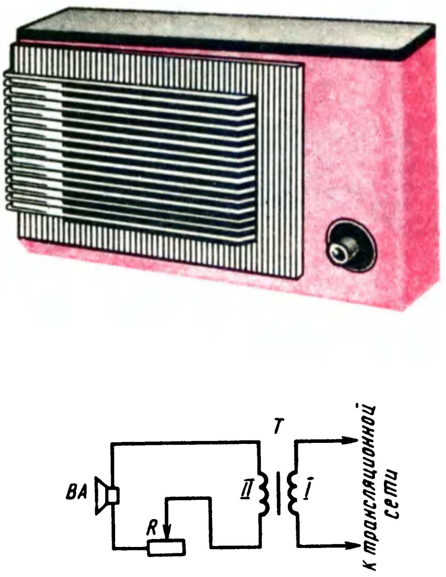


Рис. 187. Абонентский громкоговоритель и его схема

Абонентские громкоговорители можно иногда использовать для простых приемников или усилителей ЗЧ.

Обращаться с динамическими головками надо очень осторожно, чтобы не портить звуковую катушку или диффузор. Головка с порванным диффузором, даже если он заклеен, работает хуже, с искажением звука. А если звуковая катушка окажется оборванной, что можно обнаружить с помощью омметра, ремонт ее без специального оборудования практически невозможен. Но такое случается крайне редко. Чаще происходят обрывы входных проводников звуковой катушки из-за непрерывных колебаний диффузора. Такую неисправность нетрудно обнаружить и устранить сращиванием или заменой оборванного проводника.

Качество звуковоспроизведения головкой во многом зависит от акустического оформления, т. е. конструкции ящика или футляра, в котором она установлена. Для большей части радиовещательных приемников, телевизоров, монофонических радиол и магнитофонов акустическим оформлением служат сами футляры такой аппаратуры. Применяют также выносные акустические системы, называемые в обиходе громкоговорителями или звуковыми колонками, головки которых размещены в ящиках или на акустических экранах в виде деревянных щитов. Об одной из возможных конструкций самодельного громкоговорителя я еще расскажу в этой беседе.

Но выносной громкоговоритель может быть готовым, приобретенным в магазине радиотоваров. Например, 3АС-1, 10МАС-1, 15АС-404, «Электроника 25АС-227». Цифры в начале маркировки громкоговорителей указывают их номинальные мощности, а буквы АС — начало слов «акустическая система». В «Электронике 25АС-227» три головки: низкочастотная 25ГД-42, среднечастотная 15ГД-11 и высокочастотная с магнитной системой особой конструкции (так называемая изодинамическая) головка 10ГИ-1. Головки такого громкоговорителя, предназначенного для совместной работы с усилительной аппаратурой высшего класса, обеспечивают номинальный диапазон воспроизводимых частот от 31,5 до 31 500 Гц.

Подобные громкоговорители особенно необходимы для стереофонического звуковоспроизведения.

После знакомства с устройством и работой динамической головки и сравнения ее с микрофоном аналогичной системы у тебя должен возникнуть вопрос: нельзя ли заставить динамическую головку работать как микрофон, а микрофон, наоборот, как головку? В принципе, можно! Радиолюбители очень часто используют динамические головки в качестве микрофонов. Использовать же микрофон в качестве головки неэффективно и, кроме того, это опасно для микрофона при значительных выходных напряжениях усилителя.

Но вернемся к рассказу о принципе построения и работе разных по сложности усилителей ЗЧ.

КАСКАДЫ УСИЛИТЕЛЯ

Усилительным каскадом принято называть совокупность активных элементов с резисторами, конденсаторами и другими деталями, которые обеспечивают ему условия работы как усилителя электрических сигналов. Усилитель, который ты делал к детекторному приемнику (см. рис. 91), был однокаскадным. Его активный элемент — транзистор — может быть составным (см. рис. 94), полевым, но усилитель все равно останется однокаскадным. Он обеспечивает хорошее звучание головных телефонов, но его усиления недостаточно для громкого звуковоспроизведения. Для громкого воспроизведения колебаний звуковой частоты транзисторный усилитель должен быть как минимум двух-, трехкаскадным.

В усилителях, содержащих несколько следующих один за другим каскадов, различают каскады предварительного усиления и выходные, или оконечные, каскады. Выходным называют конечный каскад усилителя, работающий на телефоны или динамическую головку громкоговорителя, а предварительными — все находящиеся перед ним каскады.

Задача одного или нескольких каскадов предварительного усиления заключается в том, чтобы увеличить напряжение звуковой частоты до значения, необходимого для работы транзистора выходного каскада. От транзистора выходного каскада требуется повышение мощности колебаний звуковой частоты до уровня, необходимого для работы его нагрузки — динамической головки.

Для выходных каскадов наиболее простых усилителей радиолюбители часто используют маломощные транзисторы, такие же, что и в каскадах предварительного усиления. Объясняется это желанием делать усилители более экономичными, что особенно важно для переносных конструкций с питанием от батарей. Выходная мощность таких усилителей небольшая — от нескольких десятков до 100...150 мВт, но и ее бывает достаточно для работы телефонов или маломощных динамических головок. Если же вопрос экономии энергии источников питания не имеет столь существенного значения, например при питании усилителей от электроосветительной сети, в выходных каскадах используют мощные транзисторы.

Каков принцип работы усилителя, состоящего из нескольких каскадов?

Схему простого двухкаскадного усилителя ЗЧ ты видишь на рис. 188. Рассмотри ее внимательно. В первом каскаде усилителя работает транзистор VT1, во втором — транзистор VT2. Здесь первый каскад является каскадом предварительного усиления, второй —

Рис. 188. Двухкаскадный усилитель

выходным. Между ними — разделительный конденсатор C2. Принцип работы любого из каскадов этого усилителя одинаков и аналогичен знакомому тебе принципу работы однокаскадного усилителя. Разница только в деталях: нагрузкой транзистора VT1 первого каскада служит резистор R2, а нагрузкой транзистора VT2 выходного каскада — телефоны BF1 (или, если выходной сигнал достаточно мощный, головка громкоговорителя). Смещение на базу транзистора первого каскада подается через резистор R1, а на базу транзистора второго каскада — через резистор R3. Оба каскада питаются от общего источника $U_{\text{и.п}}$, которым может быть батарея гальванических элементов или выпрямитель. Режимы работы транзисторов устанавливают подбором резисторов R1 и R3, что обозначено на схеме звездочками.

Действие усилителя в целом заключается в следующем. Электрический сигнал, поданный через конденсатор C1 на вход первого каскада и усиленный транзистором VT1, с нагрузочного резистора R2 через разделительный конденсатор C2 поступает на вход второго каскада. Здесь он усиливается транзистором VT2 и телефонами BF1, включенными в коллекторную цепь транзистора, преобразуется в звук.

Какова роль конденсатора C1 на входе усилителя? Он выполняет две задачи: свободно пропускает к транзистору переменное напряжение сигнала и предупреждает замыкание базы на эмиттер через источник сигнала. Представь себе, что этого конденсатора во входной цепи нет, а источником усиливаемого сигнала служит электродинамический микрофон с малым внутренним сопротивлением. Что получится? Через малое сопротивление микрофона база транзистора окажется соединенной с эмиттером. Транзистор закроется, так как будет работать без начального напряжения смещения. Он будет открываться только при отрицательных полупериодах напряжения сигнала. А положительные полупериоды, еще больше закрывающие транзистор, будут им «срезаны». В результате транзистор станет искажать усиливаемый сигнал.

Конденсатор C2 связывает каскады усилителя по переменному току. Он должен хорошо пропускать переменную составляющую усиливаемого сигнала и задерживать постоянную составляющую коллекторной цепи транзистора первого каскада. Если вместе с переменной составляющей конденсатор будет проводить и постоянный ток, режим работы транзистора выходного каскада нарушится и звук станет искаженным или совсем пропадет.

Конденсаторы, выполняющие такие функции, называют конденсаторами связи, переходными или разделительными.

Входные и переходные конденсаторы должны хорошо пропускать всю полосу частот усиливаемого сигнала — от самых низких до самых высоких. Этому требованию отвечают конденсаторы емкостью не менее 5 мкФ. Использование в транзисторных усилителях конденсаторов связи больших емкостей объясняется относительно малыми входными сопротивлениями транзисторов. Конденсатор связи оказывает переменному току емкостное сопротивление, которое будет тем меньшим, чем больше его емкость. И если оно окажется больше входного сопротивления транзистора, на нем будет падать часть напряжения переменного тока, большая, чем на входном сопротивлении транзистора, отчего будет проигрыш в усилении. Емкостное сопротивление конденсатора связи должно быть по крайней мере в 3—5 раз меньше входного сопротивления транзистора. Поэтому-то на входе, а также для связи между транзисторными каскадами ставят конденсаторы больших емкостей. Здесь используют обычно малогабаритные оксидные конденсаторы с обязательным соблюдением полярности их включения.

Таковы наиболее характерные особенности построения и работа элементов двухкаскадного транзисторного усилителя ЗЧ.

Для закрепления в памяти принципа работы транзисторного двухкаскадного усилителя ЗЧ предлагаю смонтировать, наладить и проверить в действии несколько его вариантов.

ПРОСТЫЕ ДВУХКАСКАДНЫЕ

Принципиальные схемы двух вариантов такого усилителя изображены на рис. 189. Они, по существу, являются повторением схемы разобранного сейчас транзисторного усилителя. Только на них указаны данные деталей и введены дополнительные элементы: R1, C3 и SA1. Резистор R1 — нагрузка источника колебаний звуковой частоты (детекторного приемника или звукоснимателя); C3 — конденсатор, блокирующий головку BA1 громкоговорителя по высшим звуковым частотам; SA1 — выключатель питания. В усилителе по схеме на рис. 189, *а* работают транзисторы структуры p-n-p, а в усилителе по схеме рис. 189, *б* — структуры n-p-n. В связи с этим полярность включения питающих их батарей разная: на коллекторы транзисторов первого варианта усилителя подается отрицательное, а на коллекторы транзисторов второго варианта — положительное напряжение. Полярность включения оксидных конденсаторов также разная. В остальном усилители совершенно одинаковы.

В любом из этих вариантов усилителя могут работать транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21\text{э}} = 20...30$ и больше. В каскад предварительного усиления (первый) надо поставить транзистор с бо́льшим коэф-

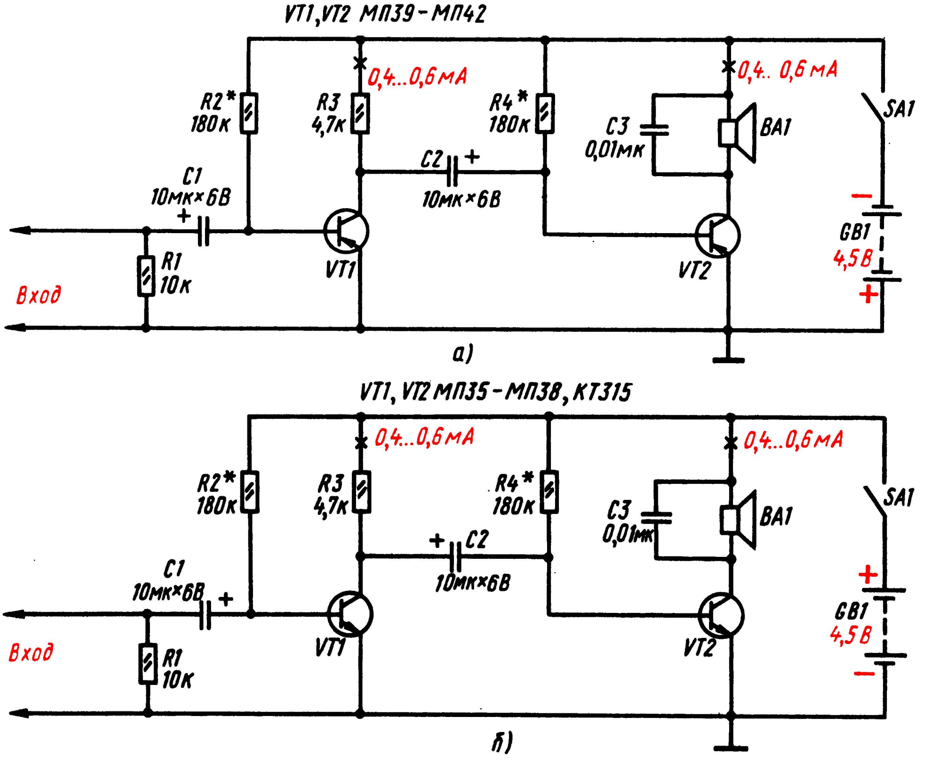

VT1,VT2 МП39-МП42
R2* 180к
R3 4,7к
0,4...0,6мА
R4* 180к
0,4.. 0,6мА
C3 0,01мк
BA1
SA1
C1 10мк×6В
C2 10мк×6В
VT1
VT2
GB1 4,5В
Вход
R1 10к
а)
VT1, VT2 МП35-МП38, КТ315
0,4...0,6мА
R2* 180к
R3 4,7к
R4* 180к
0,4...0,6мА
C3 0,01мк
BA1
SA1
C1 10мк×6В
C2 10мк×6В
VT1
VT2
GB1 4,5В
Вход
R1 10к
б)

Рис. 189. Двухкаскадные усилители ЗЧ на транзисторах структуры p-n-p (*а*) и на транзисторах структуры n-p-n (*б*)

фициентом $h_{21э}$. Роль нагрузки ВА1 выходного каскада могут выполнять головные телефоны, телефонный капсюль ДЭМ-4м или абонентский громкоговоритель. Для питания усилителя используй батарею 3336 или сетевой блок питания (о котором я рассказал в предыдущей беседе).

Предварительно усилитель собери на макетной панели, чтобы всесторонне изучить и научиться налаживать его, после чего перенесешь его детали на постоянную плату.

Сначала на панели смонтируй детали только первого каскада и конденсатор С2. Между правым (по схеме) выводом этого конденсатора и общим проводником включи головные телефоны. Если теперь вход усилителя соединить с выходными гнездами детекторного приемника, настроенного на какую-либо радиостанцию, или подключить к нему звукосниматель и проиграть грампластинку, в телефонах появится звук радиопередачи или грамзаписи. Подбирая резистор R2 (так же, как при подгонке режима работы однотранзисторного усилителя, о чем я рассказывал в шестой беседе), добейся наибольшей громкости. При этом миллиамперметр, включенный в коллекторную цепь трназистора, должен показывать ток, равный 0,4...0,6 мА. При напряжении источника питания 4,5 В это наивыгоднейший режим работы транзистора.

Затем смонтируй детали второго (выходного) каскада усилителя, телефоны включи в коллекторную цепь его транзистора. Теперь телефоны должны звучать значительно громче. Еще громче, возможно, они будут звучать после того, как подбором резистора R4 будет установлен коллекторный ток транзистора 0,4...0,6 мА.

Можно, однако, поступить иначе: смонтировать все детали усилителя, подбором резисторов R2 и R4 установить рекомендуемые режимы транзисторов (по токам коллекторных цепей или напряжениям на коллекторах транзисторов) и только после этого проверять его работу на звуковоспроизведение. Такой путь более техничный. Для более сложного усилителя, а тебе придется иметь дело в основном именно с такими усилителями, он единственно правильный.

Надеюсь, ты понял, что мои советы по налаживанию двухкаскадного усилителя в равной степени относятся к обоим его вариантам. И если коэффициенты передачи тока их транзисторов будут примерно одинаковыми, то и громкость звучания телефонов — нагрузок усилителей — должна быть примерно одинаковой. Но, как я уже говорил, нагрузкой усилителя может быть телефонный капсюль ДЭМ-4м или абонентский громкоговоритель. Режим работы выходного транзистора при этом должен измениться. С капсюлем ДЭМ-4м, сопротивление которого 60 Ом, ток покоя транзистора каскада надо увеличить (уменьшением сопротивления резистора R4) до 4...6 мА, а с абонентским громкоговорителем (сопротивление первичной обмотки его согласующего трансформатора, используемого как выходной трансформатор, еще меньше) — увеличить до 8...10 мА.

Принципиальная схема третьего варианта двухкаскадного усилителя показана на рис. 190. Особенностью этого усилителя является то, что в первом его каскаде работает транзистор структуры p-n-p, а во втором — структуры n-p-n. Причем база второго транзистора соединена с коллектором первого не через связующий конденсатор, как в усилителе первых двух вариантов, а непосредственно или, как говорят, гальванически. При такой связи расширяется диапазон частот усиливаемых колебаний, а режим работы второго транзистора определяется в основном режимом работы первого, который устанавливают подбором резистора R2.

В таком усилителе нагрузкой транзистора первого каскада служит не резистор R3, а эмиттерный p-n переход второго транзистора. Резистор же нужен лишь как элемент смещения: создающееся на нем падение напряжения открывает второй транзистор. Если этот транзистор германиевый (МП35 — МП38), сопротивление резистора R3 может быть 680...750 Ом, а если кремниевый (КТ315) — около 3 кОм. К сожалению, стабильность работы такого усилителя при изменении напряжения питания или температуры невысока. В остальном все то, что сказано применительно к усилителям первых двух вариантов, относится и к этому усилителю.

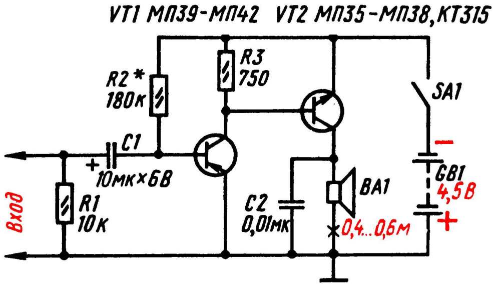


Рис. 190. Усилитель на транзисторах разной структуры

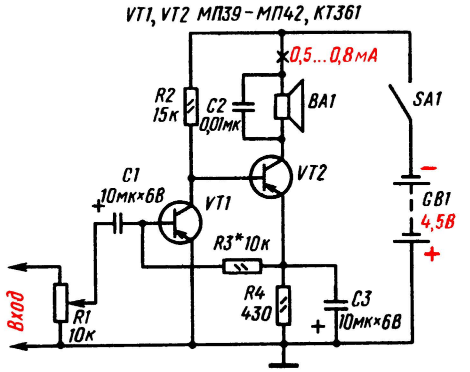


Рис. 191. Усилитель ЗЧ на транзисторах с непосредственной связью

Схема следующего варианта двухкаскадного усилителя приведена на рис. 191. В отличие от предыдущих в этом усилителе на входе вместо постоянного резистора включен потенциометром переменный резистор (R1) такого же номинала. Он выполняет функцию регулятора громкости: по мере перемещения его движка вверх (по схеме) напряжение сигнала звуковой частоты, а значит, и уровень громкости на выходе усилителя возрастают, а при перемещении вниз, в сторону общего провода, ослабевают. С движка переменного резистора входной сигнал через конденсатор C1 поступает на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя. Связь между транзисторами, как и в предыдущем варианте усилителя, непосредственная. Напряжение постоянного тока на коллекторе первого транзистора является одновременно и напряжением смещения на базе второго транзистора. Смещение же на базу первого транзистора подается (через резистор R3) с эмиттерного резистора R4 транзистора второго каскада. При таком построении усилителя между его каскадами возникает отрицательная обратная связь по постоянному току, стабилизирующая режимы работы обоих транзисторов. Конденсатор C3, шунтирующий резистор R4, ослабляет обратную связь по переменному напряжению, снижающую усиление транзистора второго каскада. Режим работы обоих транзисторов устанавливают подбором резистора R3.

Можно ли эти и подобные им усилители питать от источника постоянного тока напряжением 9 В, например от двух батарей 3336 или, наоборот, от источника напряжением 1,5...3 В — от одного-двух элементов 332 или 316? Разумеется, можно: при более высоком напряжении источника питания нагрузка усилителя — головные телефоны, абонентский громкоговоритель или динамическая головка, включенная в коллектурную цепь транзистора второго каскада через выходной трансформатор,— должна звучать громче, при более низком — тише. Но при этом несколько иными должны быть и режимы работы транзисторов. Кроме того, при напряжении источника питания 9 В номинальные напряжения оксидных конденсаторов должны быть не менее 10 В.

Рассматривая схему усилителя последнего варианта, ты, уверен, не мог не заметить ее сходства с «начинкой» аналоговой микросхемы серии К118 (см. рис. 152, *а*). Сравни их. Практически они выглядят «близнецами». Следовательно, микросхема серии К118 тоже может быть использована как двухкаскадный усилитель. Именно так и будет в одном из приемников прямого усиления, которым посвящается следующая беседа. Разобраться в цепях и работе такого усилителя тебе поможет наш разговор о микросхеме К118УН1Б, состоявшийся в девятой беседе.

Описанные здесь двухкаскадные усилители рассматривай как опытные, учебные. Поэтому монтировать их, а точнее макетировать, лучше на картонных панелях, пропуская выводы деталей через проколы в картоне и, не укорачивая, соединять снизу. Переменные резисторы могут быть типов СП или СПО, постоянные — МЛТ, оксидные конденсаторы — К50-3 или К50-6. Нагрузка усилителей — головные телефоны, телефонный капсюль ДЭМШ-4м или абонентский громкоговоритель любого типа.

Любой из этих усилителей, смонтированный на плате небольших размеров, пригодится тебе в будущем, например, для портативного транзисторного приемника. Аналогичные усилители можно использовать и для проводной телефонной связи с живущим неподалеку приятелем. Вот конкретный пример.

ДВУСТОРОННИЙ ТЕЛЕФОН

Схему аппаратуры для двусторонней телефонной связи, о которой я хочу рассказать, ты видишь на рис. 192. Слева приведена принципиальная схема первого аппарата, например твоего, справа — второго, находящегося в доме твоего приятеля. Через разъемы X1, X2 и X1′, X2′ аппараты соединены между собой двухпроводной линией связи (на схеме обозначена штриховыми линиями), длина которой может достигать 40...50 м. Разъем X1 первого аппарата должен соединяться с разъемом X2′ второго, а разъем X2 — с разъемом X1′. При невыполнении этого совершенно обязательного правила телефонная связь не состоится.

Телефонные аппараты, как видишь, идентичны, поэтому разберем работу лишь одного из них, например первого. Его основой служит двухкаскадный усилитель ЗЧ на кремниевых транзисторах структуры n-p-n. Оба транзистора включены по схеме ОЭ. Усилитель питается от батареи GB1 напряжением 4,5 В (батарея 3336 или составленная из трех элементов 332 или 343). Разомкнутое положение контактов выключателя питания SA1 соответствует дежурному режиму работы аппарата.

Ко входу усилителя подключен микрофон BM1. Колебания звуковой частоты, создаваемые им при разговоре, подаются непосредственно на

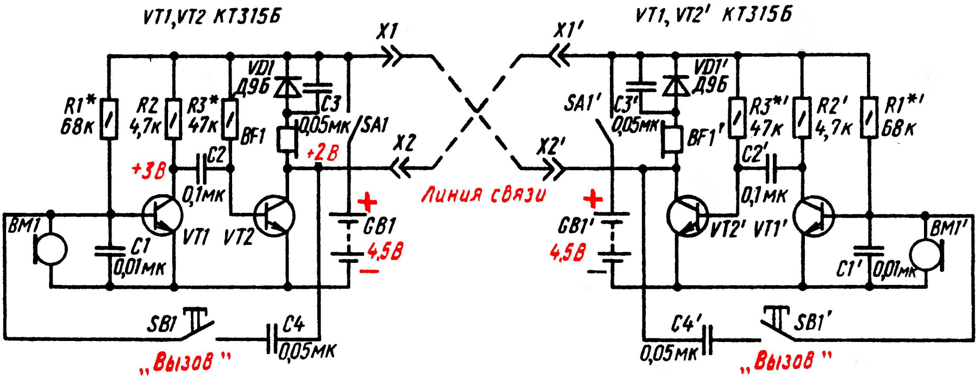


Рис. 192. Схема двустороннего телефона

базу транзистора VT1 первого каскада. Усиленные им колебания снимаются с нагрузочного резистора R2 и далее через конденсатор C2 поступают на базу транзистора VT2 для дополнительного усиления. Но нагрузкой этого выходного транзистора усилителя служит не «свой» телефон BF1, а телефон BF1′ второго аппарата — он-то и преобразует в звук низкочастотный сигнал, усиленный транзисторами первого аппарата.

Разберемся в особенностях выходной цепи усилителя телефонного аппарата. Следи за моим рассказом внимательно. При включении питания выключателем SA1 положительное напряжение батареи GB1 подается на коллектор транзистора VT2 через линейный провод, соединяющий разъемы X1 и X2′, телефон BF1′, открытый в это время диод VD1′ и далее через второй линейный провод, соединяющий разъемы X1′ и X2. Диод VD1′ остается открытым все время, пока контакты выключателя SA1 замкнуты. Конденсатор C3′, шунтирующий диод VD1′, уменьшает падение переменной составляющей на его внутреннем сопротивлении, благодаря чему телефон BF1′ сигнал не искажает. А диод VD1 первого аппарата в это время закрыт положительным напряжением питающей батареи и через него, а значит, и через телефон B коллекторный ток транзистора VT2 не идет.

Конденсатор C1 шунтирует вход усилителя по наиболее высоким частотам звукового диапазона и тем самым предотвращает самовозбуждение на этих частотах.

Точно так работает и второй телефонный аппарат. Но нагрузкой транзистора VT2′ выходного каскада его усилителя ЗЧ служит цепь, состоящая из телефона BF1, диода VD1 и конденсатора C3 первого аппарата.

Чтобы приятеля пригласить для телефонного разговора, ты должен подать ему соответствующий сигнал. Для этого надо не только включить питание усилителя, но и нажать еще кнопку SB1 «Вызов». При этом между коллектором транзистора VT2 и базой транзистора VT1 включится конденсатор C4, который создаст между выходом и входом усилителя положительную обратную связь, благодаря которой усилитель превратится в генератор колебаний звуковой частоты. При этом телефон BF1′ второго аппарата издаст достаточно громкий звук средней тональности, приглашающий приятеля к телефону. Услышав этот сигнал, приятель должен включить питание своего аппарата и нажать кнопку SB1′. Теперь в телефоне твоего аппарата появится ответный сигнал, после чего можно начать взаимный разговор.

Возможная конструкция микротелефонной трубки (т. е. устройства, включающего в себя микрофон и телефонный капсюль) и плата усилителя аппарата показаны на рис. 193. В качестве микрофонов и телефонов используй капсюли высокоомных телефонов ТОН-1, ТОН-2. Транзисторы, кроме КТ315, могут быть

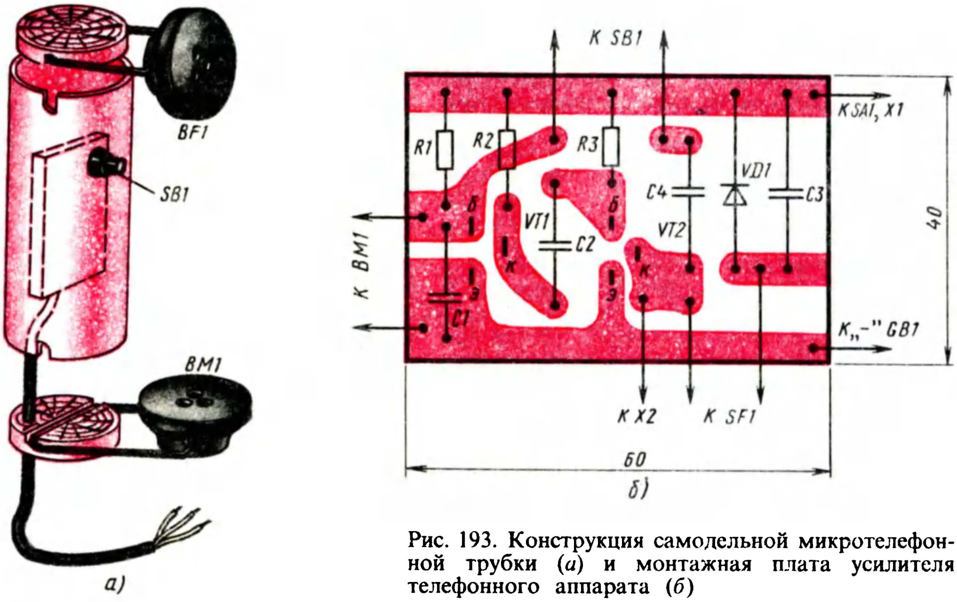


Рис. 193. Конструкция самодельной микротелефонной трубки (*а*) и монтажная плата усилителя телефонного аппарата (*б*)

серий МП35—МП38 или маломощные высокочастотные серий КТ301, ГТ311 со статическим коэффициентом передачи не менее 50. Диоды — любые из серий Д9 или Д2. Резисторы — МЛТ на мощность рассеяния 0,25 или 0,5 Вт. Конденсаторы могут быть любых типов — БМ, МБМ, КЛС.

Монтаж может быть как печатным, так и навесным.

Корпус трубки склей из нескольких слоев плотной бумаги или тонкого картона на деревянной болванке диаметром 40 мм. Полосу бумаги или картона шириной 140...145 мм наматывай плотно на болванку, смазывая каждый слой клеем БФ-2. После того как каркас хорошо просохнет, станет жестким, зачисти его мелкой шкуркой, а затем пропитай каким-либо лаком или расплавленным парафином, чтобы сделать его влагоупорным.

От той же болванки отпили два кружка толщиной по 20...25 мм и с помощью отрезков толстой проволоки укрепи на них микрофонный BM1 и телефонный BF1 капсюли. Кружки должны плотно входить в трубку и надежно удерживаться в ней. Плату усилителя (предварительно соединив ее с капсюлями кнопкой, укрепленной на корпусе, и трехжильным кабелем, идущим к выходным разъемам X1, X2) и батареи питания GB1 оберни полоской поролона или пористой резиной и вставь в трубку.

Батарею можно разместить в небольшой пластмассовой коробке и укрепить на ее стенках выключатель питания, а также гнездовую и штырьковую части разъемов для подключения линии связи.

Вполне понятно, что усилитель, прежде чем плату разместить в трубке, надо проверить и наладить. Для этого выводы диода VD1 временно замкни проволочной перемычкой, включи питание и слегка постучи пальцем по микрофонному капсюлю — в телефоне должны прослушиваться звуки, напоминающие щелчки по барабану. Затем подбором резистора R3 установи на коллекторе транзистора VT2 напряжение около 2 В, а подбором резистора R2 — напряжение на коллекторе транзистора VT1, равное примерно 3 В. Измеряя напряжения, щуп отрицательного вывода вольтметра постоянного тока соединяй с общим проводником цепи питания. Если затем нажать кнопку «Вызов», в телефоне услышишь звук средней тональности (частотой около 1000 Гц), свидетельствующий о возбуждении усилителя. Желательный тон звука можно установить подбором конденсатора C4. С увеличением емкости этого конденсатора тон звука будет понижаться, а с уменьшением емкости, наоборот, повышаться.

Так проверяют и, если надо, устанавливают рекомендуемые режимы работы транзисторов усилителей обоих телефонных аппаратов. После этого можно удалить проволочные перемычки, замыкающие диоды, вставить платы усилителей в трубки и, соединив телефонные аппараты между собой (точно по схеме на рис. 192), проверить их при совместной работе.

Такой телефон, как ты, надеюсь, догадался, можно использовать в туристическом лагере для связи, скажем, между штабной палаткой и столовой, или в военно-спортивной игре «Зарница» для связи между наблюдательными пунктами. В полевых условиях иногда (когда земля влажная) функцию одного из проводов линии связи может выполнять земля. Но предварительно надо проверить — надежна ли будет связь.

Теперь, продолжая беседу, посвященную усилителям, поговорим о стабилизации режима работы транзисторов.

СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА

Простейшие двухкаскадные усилители (например, по схемам на рис. 189), смонтированные и налаженные в помещении, в таких же условиях будут работать лучше, чем на улице, где они окажутся под горячими лучами летнего солнца или зимой на морозе. Почему так получается? Потому, что, к сожалению, с повышением и понижением окружающей температуры режим работы транзисторов нарушается. А первопричина тому — неуправляемый обратный ток коллектора $I_{КБО}$ и изменение статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при изменении температуры.

В принципе ток $I_{КБО}$ небольшой. У низкочастотных германиевых транзисторов малой мощности, например, этот ток, измеренный при обратном напряжении на коллекторном p-n переходе 5 В и температуре 20° С, не превышает 20...30 мкА, а у кремниевых транзисторов меньше 1 мкА. Но он значительно изменяется при воздействии температуры. С повышением температуры на 10° С ток $I_{КБО}$ германиевого транзистора увеличивается примерно вдвое, а кремниевого транзистора — в 2,5 раза. Если, например, при температуре 20° С ток $I_{КБО}$ германиевого транзистора составляет 10 мкА, то при повышении температуры до 60° С он возрастает примерно до 160 мкА.

Но ток $I_{КБО}$ характеризует свойства только коллекторного p-n перехода. В реальных же рабочих условиях напряжение источника питания оказывается приложенным к двум p-n переходам — коллекторному и эмиттерному. При этом обратный ток коллектора течет и через эмиттерный переход и как бы усиливает сам себя. В результате значение неуправляемого, изменяющегося под воздействием температуры тока увеличивается в несколько раз. А чем больше его доля в коллекторном токе, тем нестабильнее режим работы транзистора в различных температурных условиях. Увеличение коэффициента передачи тока $h_{21э}$ с температурой усиливает этот эффект.

Что же при этом происходит в каскаде, например, на транзисторе VT1 усилителя первого или второго варианта (см. рис. 189)? С повышением температуры общий ток коллекторной цепи увеличивается, вызывая все большее падение напряжения на нагрузочном резисторе R3. Напряжение же между коллектором и эмиттером при этом уменьшается, что приводит к появлению искажений сигнала. При дальнейшем повышении температуры напряжение на коллекторе может стать столь малым, что транзистор вообще перестанет усиливать входной сигнал.

Уменьшение влияния температуры на ток коллектора возможно либо путем использования в аппаратуре, предназначенной для работы со значительными колебаниями температуры, транзисторов с очень малым током $I_{КБО}$, например кремниевых, либо применением специальных мер, термостабилизирующих режим транзисторов.

Один из способов термостабилизации режима германиевого транзистора структуры p-n-p показан на схеме рис. 194, *а*. Здесь, как видишь, базовый резистор $R_б$ подключен не к минусовому проводнику источника питания, а к коллектору транзистора. Что это дает? С повышением температуры возрастающий коллекторный ток увеличивает падение напряжения на нагрузке $R_н$ и уменьшает напряжение на коллекторе. А так как база соединена (через резистор $R_б$) с коллектором, на ней тоже уменьшается отрицательное напряжение смещения, что, в свою очередь, уменьшает ток коллектора. Получается обратная связь между выходной и входной цепями каскада — увеличивающийся коллекторный ток уменьшает напряжение на базе, что автоматически уменьшает коллекторный ток. Происходит стабилизация заданного режима работы транзистора.

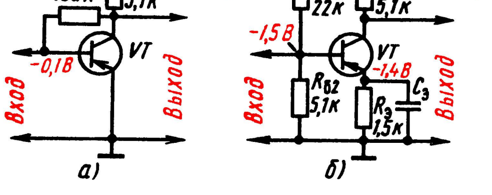


Рис. 194. Усилительные каскады с термостабилизацией режима работы транзисторов

Но во время работы транзистора между его коллектором и базой через тот же резистор $R_б$ возникает отрицательная обратная связь по переменному току, что снижает общее усиление каскада. Таким образом, стабильность режима транзистора достигается ценой проигрыша в усилении. Жаль, но приходится идти на эти потери, чтобы при изменении температуры транзистора сохранить нормальную работу усилителя.

Существует, однако, способ стабилизации режима работы транзистора с несколько меньшими потерями в усилении, но достигается это усложнением каскада. Схема такого усилительного каскада показана на рис. 194, *б*. Режим покоя транзистора по постоянному току и напряжению остается тот же: ток коллекторной цепи равен 0,8...1 мА, отрицательное напряжение смещения на базе относительно эмиттера равно 0,1 В (1,5 − 1,4 = 0,1 В). Но режим устанавливается с помощью двух дополнительных резисторов: $R_{б2}$ и $R_э$. Резисторы $R_{б1}$ и $R_{б2}$ образуют делитель, с помощью которого на базе поддерживается устойчивое напряжение. Эмиттерный резистор $R_э$ является элементом термостабилизации. Термостабилизация режима транзистора происходит следующим образом. По мере возрастания коллекторного тока под действием тепла падение напряжения на резисторе $R_э$ увеличивается. При этом разность напряжений между базой и эмиттером уменьшается, что автоматически снижает коллекторный ток. Получается такая же обратная связь, только теперь между эмиттером и базой, благодаря которой режим транзистора стабилизируется.

Прикрой бумагой или пальцем конденсатор $C_э$, подключенный параллельно резистору $R_э$ и, следовательно, шунтирующий его. Что теперь напоминает тебе эта схема? Каскад с транзистором, включенным по схеме ОК (эмиттерный повторитель). Значит, при работе транзистора, когда на резисторе $R_э$ происходит падение напряжения не только постоянной, но и переменной составляющих, между эмиттером и базой возникает 100%-ная отрицательная обратная связь по переменному напряжению, при которой усиление каскада меньше единицы. Но так может случиться лишь тогда, когда не будет конденсатора $C_э$. Этот конденсатор создает параллельный путь, по которому, минуя резистор $R_э$, идет переменная составляющая коллекторного тока, пульсирующего с частотой усиливаемого сигнала, и отрицательная обратная связь не возникает. Емкость этого конденсатора должна быть такой, чтобы не оказывать сколько-нибудь заметного сопротивления самым низшим частотам усиливаемого сигнала. В каскаде усиления звуковой частоты этому требованию может отвечать оксидный конденсатор емкостью 10...20 мкФ.

Усилитель с такой системой стабилизации режима транзистора практически нечувствителен к колебаниям температуры и, кроме того, что не менее важно, к смене транзисторов.

Во всех ли случаях именно так следует стабилизировать режим работы транзистора? Нет, конечно. Ведь все зависит от того, для какой цели предназначается усилитель. Если усилитель будет работать только в домашних условиях, где перепад температур незначительный, жесткая термостабилизация не обязательна. А если ты собираешься строить усилитель или приемник, который бы устойчиво работал и дома, и на улице, то, конечно, надо стабилизировать режим транзисторов, даже если устройство придется усложнять дополнительными деталями.

ДВУХТАКТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

Рассказывая в начале этой беседы о назначении каскадов усилителя, я, как бы забегая вперед, сказал, что в выходных каскадах, являющихся усилителями мощности, радиолюбители используют такие же маломощные транзисторы, как и в каскадах усиления напряжения. У тебя тогда, естественно, мог возникнуть, а может быть возникал, вопрос: как это достигается? Отвечаю на него сейчас.

Такие каскады называют двухтактными усилителями мощности. Причем они могут быть трансформаторными, т. е. с использованием в них трансформаторов, или бестрансформаторными. В твоих конструкциях будут применены обе разновидности двухтактного усилителя колебаний звуковой частоты. Разберемся в принципе их работы.

Упрощенная схема двухтактного трансформаторного каскада усиления мощности и графики, иллюстрирующие его работу, приведены на рис. 195. В нем, как видишь, два трансформатора и два транзистора. Трансформатор Т1 межкаскадный, связывающий предоконечный каскад со входом усилителя мощности, а трансформатор Т2 - выходной. Транзисторы VT1 и VT2 включены по схеме ОЭ. Их эмиттеры, как и средний вывод вторичной обмотки межкаскадного трансформатора, «заземлены» — соединены с общим проводником источника питания $U_{и.п}$. Отрицательное напряжение питания на коллекторы транзисторов подается через первичную обмотку выходного трансформатора Т2: на коллектор транзистора VT1 — через секцию $I_а$, на коллектор транзистора VT2 — через секцию $I_б$. Каждый транзистор и относящиеся к нему секции вторичной обмотки межкаскадного трансформатора и первичной обмотки выходного трансформатора представляют обычный, уже знакомый тебе, однотактный усилитель. В этом нетрудно убедиться, если прикрыть листком бумаги одно из таких плеч каскада. Вместе же они образуют двухтактный усилитель мощности.

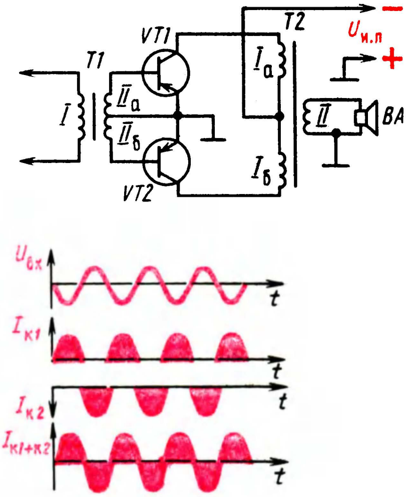


Рис. 195. Двухтактный трансформаторный усилитель мощности и графики, иллюстрирующие его работу

Сущность работы двухтактного усилителя заключается в следующем. Колебания звуковой частоты (график *а* на рис. 195) с предоконечного каскада подаются на базы обоих транзисторов так, что напряжения на них изменяются в любой момент времени в противоположных направлениях, т. е. в противофазе. При этом транзисторы работают поочередно, на два такта за каждый период подводимого к ним напряжения. Когда, например, на базе транзистора VT1 отрицательная полуволна, он открывается и через секцию $I_а$ первичной обмотки выходного трансформатора идет ток только этого транзистора (график *б*). В это время транзистор VT2 закрыт, так как на его базе положительная полуволна напряжения. В следующий полупериод, наоборот, положительная полуволна будет на базе транзистора VT1, а отрицательная — на базе транзистора VT2. Теперь открывается транзистор VT2 и через секцию $I_б$ первичной обмотки выходного трансформатора идет ток его коллектора (график *в*), а транзистор VT1, закрываясь, «отдыхает». И так при каждом периоде звуковых

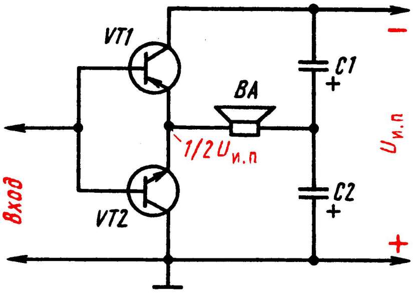


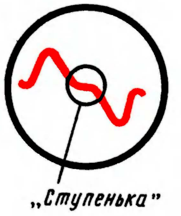
Рис. 196. Двухтактный бестрансформаторный усилитель мощности

колебаний, подводимых к усилителю. В обмотке трансформатора коллекторные токи обоих транзисторов суммируются (график *г*), в результате на выходе усилителя получаются более мощные электрические колебания звуковой частоты, чем в обычном однотактном усилителе. Динамическая головка ВА, подключенная ко вторичной обмотке трансформатора, преобразует их в звук.

Теперь, пользуясь схемой на рис. 196, разберемся в принципе работы бестрансформаторного усилителя мощности. Здесь также два транзистора, но они разной структуры: транзистор VT1 — p-n-p, транзистор VT2 — n-p-n. По постоянному току транзисторы включены последовательно, образуя как бы делитель напряжения питающего их источника постоянного тока. При этом на коллекторе транзистора VT1 относительно средней точки между ними, называемой точкой симметрии, создается отрицательное напряжение, равное половине напряжения источника питания, а на коллекторе транзистора VT2 — положительное, также равное половине напряжения источника питания $U_{и.п}$. Динамическая головка ВА включена в эмиттерные цепи транзисторов: для транзистора VT1 — через конденсатор С2, для транзистора VT2 — через конденсатор С1. Таким образом, транзисторы по переменному току включены по схеме ОК (эмиттерными повторителями) и работают на одну общую нагрузку — головку ВА.

На базах обоих транзисторов усилителя действует одинаковое по значению и частоте переменное напряжение, поступающее от предоконечного каскада. А так как транзисторы разной структуры, то и работают они поочередно, на два такта: при отрицательной полуволне напряжения открывается только транзистор VT1 и в цепи головка ВА — конденсатор С2 появляется импульс коллекторного тока (на рис. 195 — график *б*), а при положительной полуволне открывается только транзистор VT2 и в цепи головка ВА — конденсатор С1 появляется импульс коллекторного тока этого транзистора (график *в*). Таким образом, через головку течет суммарный ток транзисторов (график *г*), представляющий собой усиленные по мощности колебания звуковой частоты, которые она преобразует в звуковые колебания. Практически получается тот же эффект, что и в усилителе с трансформаторами, но благодаря использованию транзисторов разной структуры отпадает надобность в устройстве для подачи на базы транзисторов сигнала в противофазе.

Рис. 197. Искажения типа «ступенька», которые можно увидеть на экране осциллографа



Ты, уверен, заметил одно противоречие в моем объяснении работы двухтактных усилителей мощности: на базы транзисторов не подавались напряжения смещения. Ты прав, но особой ошибки здесь нет. Дело в том, что транзисторы двухтактного каскада могут работать без начального напряжения смещения. Но тогда в усиливаемом сигнале появляются искажения типа «ступенька», особенно сильно ощущаемые при слабом входном сигнале. Ступенькой же их называют потому, что на осциллограмме синусоидального сигнала они имеют ступенчатую форму (рис. 197). Наиболее простой способ устранения таких искажений — подача на базы транзисторов начального напряжения смещения.

Перехожу к практике. Расскажу о нескольких вариантах разных по сложности и назначению усилителей ЗЧ.

ДВУХКАСКАДНЫЙ С ПОВЫШЕННОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ

Принципиальная схема этого варианта усилителя, рассчитанного на работу в низкочастотном тракте радиовещательного приемника, показана на рис. 198. Его чувствительность зависит от используемых транзисторов и составляет 20...25 мВ, выходная мощность — 120...150 мВт, что обеспечивает достаточно громкое звучание маломощной динамической головки прямого излучения. Источником пита-

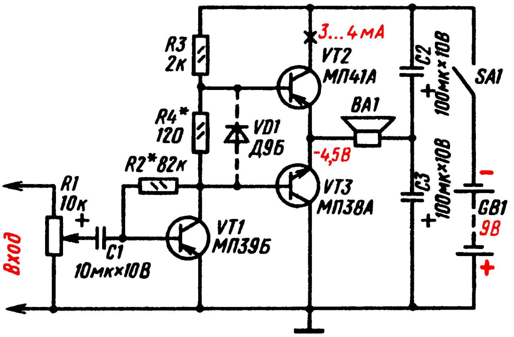


Рис. 198. Схема усилителя колебаний звуковой частоты с двухтактным бестрансформаторным выходом

ния служит батарея напряжением 9 В или сетевой блок питания с таким же выходным напряжением. Ток, потребляемый усилителем от источника питания при отсутствии сигнала на входе, не превышает 4...5 мА, при наибольшем уровне сигнала он возрастает до 40...50 мА.

Сигнал звуковой частоты, который надо усилить, подают на входной переменный резистор R1, выполняющий функцию нагрузки источника сигнала и регулятора громкости, а с его движка через конденсатор C1 на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя. Этот транзистор включен по схеме ОЭ. Напряжение смещения на его базу подается с коллектора через резистор R2, термостабилизирующий режим работы транзистора (как в каскаде по схеме на рис. 194, *а*). Нагрузкой транзистора служат соединенные последовательно резисторы R3 и R4. С нее сигнал, усиленный транзистором VT1, подается на базы транзисторов VT2 (p-n-p) и VT3 (n-p-n) двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности.

Этот каскад усилителя по посроению и работе аналогичен каскаду, разобранному нами в предыдущей части этой беседы (см. рис. 196). Только там базы транзисторов соединены между собой непосредственно, а здесь через резистор R4. Благодаря этому резистору транзисторы выходного каскада работают с начальным напряжением смещения, что устраняет искажения типа «ступенька».

Происходит это следующим образом. На резисторе R4, являющемся частью коллекторной нагрузки транзистора VT1 первого каскада, происходит падение напряжения постоянной составляющей коллекторного тока. При этом на базе p-n-p транзистора VT2 относительно его эмиттера получается отрицательное, а на базе n-p-n транзистора VT3 (тоже относительно эмиттера) отрицательное напряжение смещения, открывающие эти транзисторы. Транзистор VT2 усиливает отрицательные полуволны тока звуковой частоты, текущего через резистор R4, а транзистор VT3 — отрицательные полуволны усиливаемого сигнала. Динамическая головка преобразует усиленный по мощности сигнал в звук.

Статический коэффициент передачи тока транзистора VT1 должен быть не менее 50—60. Для транзисторов VT2 и VT3 коэффициент $h_{21э}$ особого значения не имеет, важно лишь, чтобы возможно близкими были их обратные токи коллекторов $I_{КБО}$. Конденсаторы — оксидные типа К50-6. Динамическая головка BA1 мощностью 0,25...0,5 Вт со звуковой катушкой сопротивлением 8...10 Ом, например 0,25ГД-2.

Налаживание такого варианта усилителя ЗЧ сводится в основном к подбору резисторов R4 и R2. И делают это, конечно, на макетной панели или временной картонной плате при отсутствии входного сигнала. Движок переменного резистора R1 устанавливают в крайнее нижнее (по схеме) положение, а в коллекторную цепь транзисторов VT2 и VT3 включают миллиамперметр на ток 10...20 мА. В момент включения питания стрелка микроамперметра должна сделать резкий бросок и тут же вернуться в положение, соответствующее значению тока не более 10 мА. Подбором резистора R4, заменяя его другим или подключая параллельно ему резисторы бо́льших номиналов, надо добиться, чтобы ток покоя транзисторов выходного каскада был в пределах 2...4 мА. Но учти: производить замену резистора R4 можно только при отключенном источнике питания, иначе транзисторы из-за недопустимо больших напряжений на их базах быстро перегреются и выйдут из строя.

Далее, подогнав рекомендуемый ток покоя транзисторов выходного каскада, подбором резистора R2 устанавливают на эмиттерах этих транзисторов, т. е. в точке симметрии, напряжение, равное половине напряжения источника питания. Если при этом значительно возрастет ток покоя, корректируют его дополнительным подбором резистора R4.

После этого на вход усилителя можно подать сигнал звуковой частоты, например, с выхода простого приемника или от звукоснимателя и послушать работу усилителя при разных положениях движка входного переменного резистора. Если режимы работы транзисторов соответствует рекомендуемым, то динамическая головка должна звучать громко и без заметных на слух искажений звука.

Какие изменения, дополнения можно внести в такой вариант усилителя ЗЧ и его конструкцию? Их может быть много. Все зависит от наличия и габаритных размеров деталей, назначения усилителя и технических требований, предъявляемых к нему. Начну с транзисторов.

Вместо указанных на схеме в первом каскаде усилителя (VT1) могут работать транзисторы серий МП40, МП41. Транзистор МП41А (VT2) можно заменить на любой из серий МП39—МП41, а МП38 (VT3) на любой из серий МП36, МП37. Чтобы сохранить ту же чувствительность усилителя (15...20 мВ), коэффициент $h_{21\text{э}}$ транзистора первого каскада не должен быть меньше 50.

Все транзисторы могут быть кремниевыми соответствующих структур: VT1 и VT2—КТ361, VT3—КТ315 с любым буквенным индексом. В таком случае потребуется изменить полярность включения оксидных конденсаторов, источника питания и, кроме того, увеличить сопротивление резистора R4 примерно до 270 Ом. Необходимость увеличения сопротивления этого резистора объясняется тем, что кремниевые транзисторы открываются при более высоком, чем германиевые, напряжении смещения. Работа усилителя на кремниевых транзисторах будет более стабильной при изменении температурных условий.

Резистор R4, определяющий напряжение смещения на базах транзисторов выходного каскада, можно заменить германиевым диодом, как показано на рис. 198 штриховыми линиями. При включении в прямом направлении на нем при токе 1...1,5 мА падает напряжение, достаточное для открывания транзисторов VT2 и VT3 и, следовательно, устранения искажений типа «ступенька». В этом случае ток покоя выходных транзисторов устанавливают, как и в исходном варианте, подбором резистора R2, а напряжение в точке симметрии каскада, равное половине напряжения источника питания, подбором резистора R3. Если транзисторы кремниевые, то в этом участке коллекторной цепи транзистора первого каскада должны быть два, соединенных последовательно, германиевых диода из серий Д9, Д2, Д20.

В выходной цепи усилителя могут быть не два, а один оксидный конденсатор—только С2 или только С3. Но емкость этого конденсатора должна быть увеличена по крайней мере в 2 раза. Чем больше будет его емкость, тем лучше будут воспроизводиться самые низшие звуковые частоты усиливаемого сигнала. Этот конденсатор чаще включают не между динамической головкой и плюсовым или минусовым проводником источника питания, как на рис. 198, а между головкой и эмиттерами выходных транзисторов, т. е., говоря иначе, головку и конденсатор меняют местами.

В дальнейшем тебе неоднократно придется иметь дело с подобными усилителями ЗЧ. Поэтому уже сейчас ты должен как следует разобраться в нем и его особенностях. Для этого рекомендую смонтировать усилитель на макетной панели, наладить, испытать в работе, внести в него те или иные изменения и сделать соответствующие выводы на будущее. Учти: в дальнейшем, чтобы не повторяться, я иногда буду отсылать тебя к описанию этого усилителя.

ТРЕХКАСКАДНЫЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Этот вариант усилителя (рис. 199)—тоже с двухтактным бестрансформаторным выходом, но он трехкаскадный, с элементами термостабилизации режима работы транзисторов и цепями отрицательной обратной связи, улучшающими его частотную характеристику. Чувствительность налаженного усилителя не хуже 15 мВ, выходная мощность 120...150 мВт, полоса воспроизводимых звуковых частот 125...20 000 Гц. Источник питания—батарея «Крона», аккумуляторная батарея 7Д-0,1 или две, соединенные последовательно, батареи 3336. Потребляемый ток в режиме покоя (молчания) около 7 мА, при наибольшей громкости—до 50 мА.

Коротко о работе и особенностях, отличающих его от усилителей предыдущих вариантов. Его первые два каскада аналогичны двухкаскадному усилителю по схеме на рис. 189, *а*. Только здесь напряжения смещения на базы транзисторов этих каскадов подаются с соответствующих им делителей напряжения R2, R3 и R7, R8. Кроме того, в эмиттерные цепи

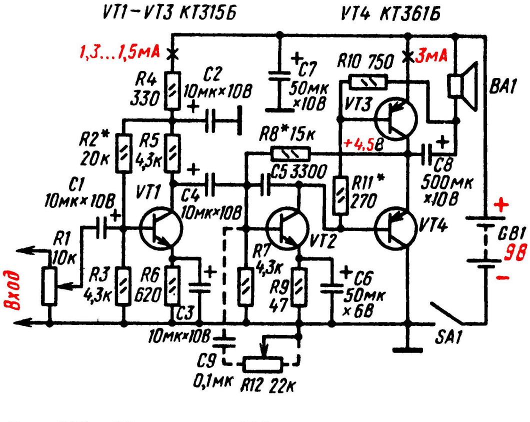


Рис. 199. Усилитель ЗЧ на кремниевых транзисторах

включены резисторы R6 и R9, термостабилизирующие работу транзисторов. Оксидные конденсаторы С3 и С6, шунтирующие эти резисторы, устраняют местные отрицательные обратные связи по переменному току.

В третьем, выходном, каскаде, который анлогичен подобному каскаду предыдущего усилителя, работают идентичные по электрическим параметрам, но разные по структуре транзисторы КТ315Б (n-p-n) и КТ361Б (p-n-p), включенные эмиттерными повторителями. Сигнал звуковой частоты на их базы подается непосредственно с коллектора транзистора VT2 предоконечного каскада. Транзистор VT3 усиливает положительные полуволны сигнала, а транзистор VT4 — отрицательные. Мощные колебания ЗЧ через конденсатор С8 поступают к динамической головке BA1 и преобразуются ею в звук.

Обращаю внимание на способ включения резистора R10, являющегося основной нагрузкой транзистора VT2 второго каскада. В предыдущем усилителе такой резистор подключался к положительному проводнику источника питания непосредственно, а в этом усилителе — через динамическую головку BA1. В этом случае в базовую цепь транзисторов выходного каскада подается так называемая вольтодобавка — небольшое напряжение ЗЧ положительной обратной связи, выравнивающее условия работы транзисторов. Падение напряжения на резисторе R11 в этой цепи создает на базах транзисторов этого каскада относительно их эмиттеров начальные напряжения смещения (на базе VT3 — положительное, на базе VT4 — отрицательное), устраняющие искажения типа «ступенька», особенно заметные на слух при слабых сигналах.

Резистор R8, входящий в делитель напряжения R7R8, создает между эмиттерами транзисторов Т3 и Т4 и базой транзистора VT2 цепь отрицательной обратной связи по постоянному току, стабилизирующую режим работы транзисторов этих каскадов. Через конденсатор С5 из коллекторной в базовую цепь транзистора VT2 подается переменное напряжение отрицательной обратной связи, улучшающее частотную характеристику усилителей. Изменяя его емкость, можно подбирать желательный тембр звука.

Новыми для тебя являются резистор R4 и оксидные конденсаторы С2 и С7. Каковы их функции? Резистор R4 и конденсатор С2 образуют развязывающий фильтр, предотвращающий возможное возбуждение усилителя из-за паразитных связей между выходным и входным каскадами через общий источник питания. Конденсатор С7 дополнительно ослабляет паразитные связи между каскадами, возрастающие по мере разрядки батареи GBI, когда ее внутреннее сопротивление переменному току увеличивается.

В усилитель можно ввести регулятор тембра по высоким звуковым частотам. Для этого надо включить между базой транзистора VT2 и общим проводником цепь из конденсатора емкостью 0,1 мкФ и переменного резистора сопротивлением 20...30 кОм (на рис. 199 показаны штриховыми линиями). По мере уменьшения сопротивления резистора все более будут ослабляться высшие частоты звукового диапазона и подчеркиваться низшие.

Поскольку усилитель предназначается главным образом для низкочастотного тракта радиовещательного приемника, то и монтировать его следует на плате вместе с деталями его радиочастотного тракта. Предварительно же рекомендую смонтировать, наладить и испытать его в работе на макетной панели. Посвяти ему два-три вечера — накопленный опыт пригодится в будущем.

Каковы преимущества двухтактных бестрансформаторных усилителей мощности перед аналогичными усилителями с трансформаторами. Их в основном два. Первое преимущество чисто конструктивного характера — отсутствие сравнительно сложных и громоздких межкаскадного и выходного трансформаторов. Это позволяет конструировать более компактные и легкие усилители, что особенно важно для переносной аппаратуры. Второе преимущество качественное — отсутствие искажений, вносимых в работу усилителя трансформаторами, и равномерность усиления по диапазону звуковых частот. Бестрансформаторный усилитель может равномерно усиливать практически почти весь воспринимаемый нами диапазон звуковых частот (примерно от 20...40 Гц до 15...20 кГц). Аналогичный же усилитель с межкаскадным и выходным трансформаторами равномерно усиливает более узкий диапазон звуковых колебаний, примерно от 100 Гц до 5...6 кГц.

Эти преимущества бестрансформаторных усилителей достигаются в основном за счет усложнения их выходных каскадов и некоторого увеличения расхода энергии на их питание. Тем не менее у радиолюбителей популярны и усилители с трансформаторами.

Следующий вариант усилителя ЗЧ...

НА МИКРОСХЕМЕ К174УН7

Аналоговая микросхема К174УН7 серии К174, на базе которой можно смонтировать законченный усилитель ЗЧ для монофонического электрофона или тракта звуковой частоты радиовещательного приемника, предназначена для телевизионных приемников. В ее монокристалле кремния, заключенном в пластмассовый корпус размерами 21,5 × 6,8 × 4 мм, работает 16 транзисторов, в основном структуры n-p-n, 5 диодов и 16 резисторов, которые вместе с внешними деталями, подключаемыми к микросхеме при монтаже, образуют несколько каскадов предварительного усиления сигнала и двухтактный усилитель мощности.

Транзисторы каскада усиления мощности имеют тепловой контакт с металлической пластиной, выступающей из корпуса. Она выполняет функцию небольшого радиатора, отводящего тепло от транзисторов. При необходимости более эффективного охлаждения транзисторов выходного каскада к выступающим частям пластины привертывают дополнительную пластину, изогнутую в виде перевернутой буквы «П» с вырезом по корпусу. Дополнительный радиатор не должен касаться выводов микросхемы.

Внешний вид этой микросхемы и принципиальная схема усилителя ЗЧ, который на ее базе можно построить, показаны на рис. 200, *а*. Сигнал от звукоснимателя или с выхода детекторного каскада радиовещательного приемника подается через разъем X1 на переменный резистор R1, выполняющий функцию регулятора громкости, а с его движка — на вход (вывод 8) микросхемы DA1. С выхода микросхемы (вывод 12) сигнал звуковой частоты, усиленный всеми ее каскадами, поступает через конденсатор C8 к динамической головке BA1 и преобразуется ею в звук.

При напряжении источника питания 12 В выходная мощность усилителя составляет 2...2,5 Вт. В отсутствие входного сигнала потребляемый ток не превышает 20 мА, а при наиболее сильных сигналах он увеличивается до 200...250 мА. Источником питания может служить батарея, составленная из восьми элементов 343 или 373, или выпрямитель со стабилизатором выходного напряжения.

Напряжение питания на микросхему подается через выводы 1 и 10. Через резистор R2 на базу p-n-p транзистора первого каскада микросхемы подается открывающее его отрицательное напряжение смещения. Конденсатор C2 совместно с несколькими элементами микросхемы образуют фильтр, через который питаются транзисторы первых каскадов усилителя. Конденсатор C3 и резистор R3 входят в цепь отрицательной обратной связи, улучшающей частотную характеристику усилителя. Конденсатор C5 и резистор R4 — элементы «вольтодобавки», позволяющей более полно использовать по мощности выходные транзисторы микросхемы. Конденсаторы C4, C6 и цепочка R5, C7 служат для коррекции усилителя по высшим частотам звукового диапазона. Конденсатор C9 шунтирует батарею питания по переменному току.

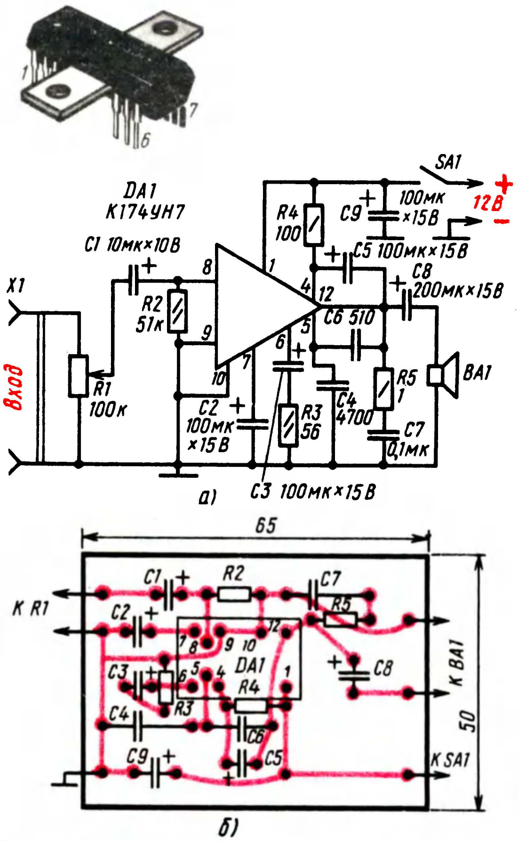


Рис. 200. Усилитель ЗЧ на микросхеме К174УН7

Таково коротко назначение внешних деталей, обусловливающих работу микросхемы К174УН7 в режиме усиления колебаний звуковой частоты.

Микросхему вместе с дополнительными деталями можно смонтировать на плате размерами 65 × 50 мм (рис. 200, *б*). Монтаж может быть как печатным, так и навесным. При навесном монтаже его опорными точками могут служить пустотелые заклепки или отрезки медного луженого провода, запрессованные в отверстиях, просверленных в плате. Детали, в том числе и саму микросхему, размещай с одной стороны платы, а соединения между их выводами делай с другой стороны (на рис. 200, *б* вид на плату показан со стороны токонесущих проводников). Выводы 2, 3 и 11 микросхемы не используются, поэтому их можно осторожно отогнуть в сторону и не пропускать через отверстия в плате.

Переменный резистор R1 с выключателем питания SA1, находящийся за пределами платы, может быть любого типа (ТК, СП-3), постоянные резисторы — МЛТ. Все оксидные конденсаторы типа К50-6, остальные конденсаторы — МБМ, БМ-2, КЛС. Динамическая головка BA1 мощностью 2...3 Вт, например 2ГД-28, 3ГД-38, со звуковой катушкой сопротивлением 4,5...6,5 Ом.

Если конденсаторы и резисторы предварительно проверены и ошибок в монтаже нет, усилитель никакого налаживания не требует: он начинает работать сразу же после включения питания. Признаком его работоспособности может служить громкий звук (фон переменного тока), появляющийся в головке при касании верхнего (по схеме) контактного гнезда входного разъема X1 и изменяющегося по силе при вращении ручки переменного резистора R1.

Усилитель можно питать от источника напряжением 9 В, например, при совместной работе с радиочастотным трактом приемника прямого усиления или супергетеродина. Но тогда его выходная мощность составит 1...1,5 Вт. При напряжении же источника питания 15 В, на которое и рассчитана микросхема К174УН7, выходная мощность усилителя увеличится до 4...4,5 Вт. Но в этом случае микросхема должна иметь дополнительный теплоотводящий радиатор.

НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ И МИКРОСХЕМЕ

Основная особенность, отличающая этот усилитель (рис. 201) от уже знакомых тебе, заключается в наличии в нем узла плавного регулирования тембра звуковоспроизведения.

Говоря о тембре, мы имеем в виду определенную «окраску» звука, свойственную голосу человека, музыкальному инструменту, хору, оркестру. Тембр звука зависит от количества содержащихся в нем гармонических колебаний и соотношения их амплитуд, что, в свою очередь, зависит от особенностей источника звука.

Регулирование тембра в этом усилителе, как и во многих радиоприемниках, магнитофонах или телевизорах, осуществляется изменением его частотной характеристики. Это позволяет по желанию увеличивать или уменьшать усиление на низших или высших частотах звукового диапазона и тем самым изменять тембр звука, воспроизводимого динамической головкой громкоговорителя. Достигается это введением в усилитель ЗЧ дополнительных цепей, состоящих обычно из конденсаторов и резисторов.

В нашем усилителе регулятор тембра, позволяющий производить как «завал», так и подъем усиления на высших и низших частотах звукового диапазона, образуют цепочки из резисторов R4 — R7 и конденсаторов C3 — C6. Их номиналы выбраны так, что колебания средних частот проходят с выхода каскада на полевом транзисторе VT1 на вход микросхемы DA1 ослабленными примерно в 10 раз, причем это ослабление не зависит от положения движков переменных резисторов R5 и R8. Колебания же высших и низших частот могут либо проходить через регулятор тембра без заметного ослабления, что соответствует подъему усиления этих частот по отношению к средним, либо ослабляться сильнее средних частот. Усиление на

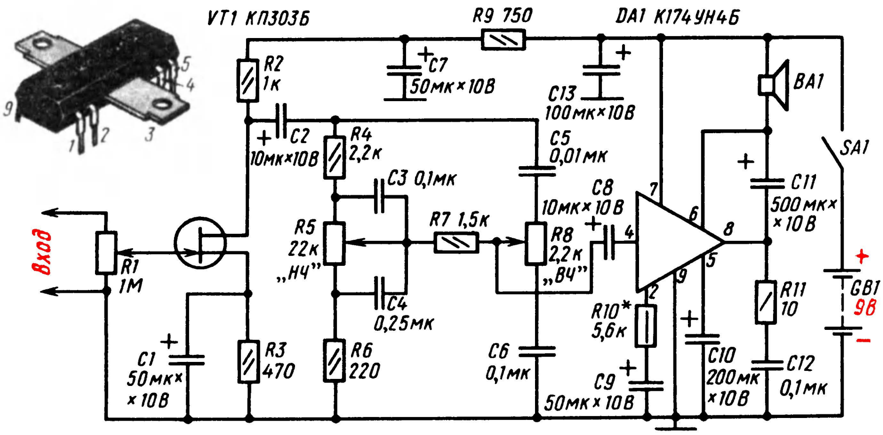


Рис. 201. Усилитель ЗЧ с регуляторами тембра звука

низших частотах изменяют с помощью резистора R5 («НЧ»), на высших — с помощью резистора R8 («ВЧ»). Колебания низших частот ослабляются при перемещении движка резистора R5 вниз (по схеме), а высших — при перемещении в ту же сторону движка резистора R8.

Значительное ослабление колебаний средних частот, вносимое регулятором тембра, компенсируется усилительным каскадом на полевом транзисторе. Входное сопротивление такого каскада, как ты уж знаешь, очень большое, что позволяет подключать к нему практически любой источник сигнала ЗЧ.

С выхода регулятора тембра сигнал звуковой частоты поступает на вход (вывод 4) микросхемы К174УНБ, являющейся основным активным элементом этого варианта усилителя ЗЧ. Подобная по конструкции микросхеме К174УН7 (разница в основном лишь в нумерации назначения выводов), она обеспечивает большое усиление сигнала по напряжению и току. Полоса усиливаемых ею электрических колебаний составляет 30...20 000 Гц, выходная мощность около 1 Вт. Значение тока, потребляемого от источника питания напряжением 9 В, не превышает 10 мА.

С выхода микросхемы (вывод 8) усиленные колебания ЗЧ поступают через оксидный конденсатор С11 большой емкости к динамической головке ВА1 и преобразуются ею в звук.

Двухтактный выходной каскад микросхемы К174УН4Б подобен такому же каскаду микросхемы К174УН7 усилителя ЗЧ по схеме на рис. 200, поэтому и схемы их выходных цепей схожи. Аналогичные функции выполняют и относящиеся к ним другие детали и цепи. Так, резистор R10 и конденсатор С9 образуют цепь отрицательной обратной связи, определяющей коэффициент усиления микросхемы. Конденсатор С10 входит в развязывающий фильтр в цепи питания транзисторов входного каскада микросхемы. Резистор R11 и конденсатор С12 — корректирующая цепь, обеспечивающая усилителю микросхемы стабильность работы.

Коротко о назначении остальных деталей усилителя. Входной переменный резистор R1 выполняет функцию регулятора громкости. Через него же за затвор полевого транзистора VT1 подается напряжение смещения, снимаемое с истокового резистора R3. Конденсатор С1, шунтирующий этот резистор по переменному напряжению, устраняет местную отрицательную обратную связь, снижающую усиление каскада. С резистора R2 — нагрузки транзистора VT1 — усиленный сигнал подается через конденсатор С2 на вход регулятора тембра.

Резистор R9 и конденсатор С7 — развязывающий фильтр, предотвращающий возбуждение усилителя из-за возможных паразитных связей между микросхемой и входным каскадом через общий источник питания. Этой же цели служит конденсатор С13, шунтирующий источник питания.

Конструкция усилителя определяется его предназначением. В случае использования усилителя в низкочастотном тракте радиоприемника, его детали целесообразно монтировать на той же плате, что и детали радиочастотного тракта, а если как усилитель для воспроизведения грамзаписи, то на самостоятельной плате. В любом случае начинать надо с подбора всех деталей, которые должны быть на плате будущего усилителя: полевой транзистор, микросхема, постоянные резисторы, конденсаторы. Переменные резисторы, динамическая головка ВА1, выключатель питания SA1 будут вынесены на переднюю стенку корпуса приемника или усилителя. Источник питания — две батареи 3336, соединенные последовательно, аккумуляторная батарея 7Д-0,1 или сетевой блок питания. Полевой транзистор может быть любым из серий КП303, КП302 (с n-каналом). Можно также использовать полевой транзистор с p-каналом, например, из серии КП103. Но тогда при монтаже надо будет поменять местами проводники цепи питания, идущие к резисторам R2, R3, R1, и изменить полярность включения оксидных конденсаторов С1 и С2. Микросхема может быть с буквенным индексом А (К174УН4А) без каких-либо изменений в монтаже. Динамическая головка мощностью 1...2 Вт со звуковой катушкой сопротивлением 4...6 Ом, например 1ГД-39.

Нужно разместить детали на листе бумаги с таким расчетом, чтобы соединительные проводники между ними были короткими и по возможности не пересекались. Уточни размеры будущей платы, составь схему размещения и соединения деталей на ней. Только после этого приступай к заготовке платы и монтажу деталей усилителя.

Можно, разумеется, пойти и таким путем. На макетной панели сначала смонтировать микросхему со всеми относящимися к ней резисторами и конденсаторами (начиная с конденсатора С8), подключить динамическую головку и, включив питание, испытать эту часть усилителя. Ее чувствительность 20...30 мВ, т. е. не хуже чувствительности предыдущих усилителей, поэтому даже при выходном сигнале простого приемника динамическая головка должна звучать громко. Налаживание этой части усилителя заключается в подборе резистора R10 в цепи отрицательной обратной связи. Его сопротивление должно быть таким, чтобы чувствительность усилителя заметно не ухудшалась и при наибольшей громкости искажения сигнала были малозаметными на слух.

Затем, отключив источник питания, на макетной панели смонтируй детали входного каскада и развязывающий фильтр R9C7. Вывод положительной обкладки конденсатора C8 подключи непосредственно к выводу стока полевого тразнистора (вместо конденсатора C2), а на входной переменный резистор R1 подай сигнал от звукоснимателя электропроигрывающего устройства. Теперь динамическая головка должна звучать значительно громче и, конечно, без заметных на слух искажений звука.

После этого, придерживаясь принципиальной схемы (рис. 201), можно смонтировать детали регулятора тембра и всесторонне проверить его работу совместно с каскадом предварительного усиления сигнала на полевом транзисторе и микросхемой.

Может случиться, что в твоем пока что не очень большом «хозяйстве» не окажется полевого транзистора. Как быть? Нельзя ли заменить его биполярным? Можно, например транзистором КТ315 или КТ312 с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 60...80. Предварительный усилитель на таком транзисторе можно смонтировать по схеме первого каскада описанного ранее усилителя ЗЧ (рис. 199). Но учти: входное сопротивление усилителя с таким каскадом будет не более 10 кОм, что ухудшит согласование его с большим сопротивлением пьезокерамического звукоснимателя.

Перехожу к варианту законченной конструкции усилителя ЗЧ на биполярных транзисторах.

ЭЛЕКТРОФОН

Для проигрывания грампластинок наша промышленность выпускает электропроигрывающие устройства, называемые сокращенно ЭПУ. Механизм наиболее массовых ЭПУ состоит из пьезокерамического звукоснимателя, электродвигателя с диском для грампластинки и системы рычагов для пуска и автоматической остановки электродвигателя по окончании грамзаписи. Именно такими устройствами снабжают все радиолы — радиовещательные приемники, усилители ЗЧ которых можно использовать для воспроизведения грамзаписи.

В твоем распоряжении может оказаться ЭПУ в пластмассовом ящике, похожем на чемодан. Для воспроизведения грамзаписи при этом нужен радиовещательный приемник или телевизор, в которых предусмотрены гнезда для подключения звукоснимателя ЭПУ, или усилитель ЗЧ с громкоговорителем на выходе.

А нельзя ли усилитель вмонтировать непосредственно в корпус электропроигрывателя? Разумеется, можно! Получится переносный электрофон. Такое радиотехническое устройство для громкого вопроизведения грамзаписи я и предлагаю тебе для конструирования.

Принципиальная схема возможного варианта усилителя электрофона изображена на

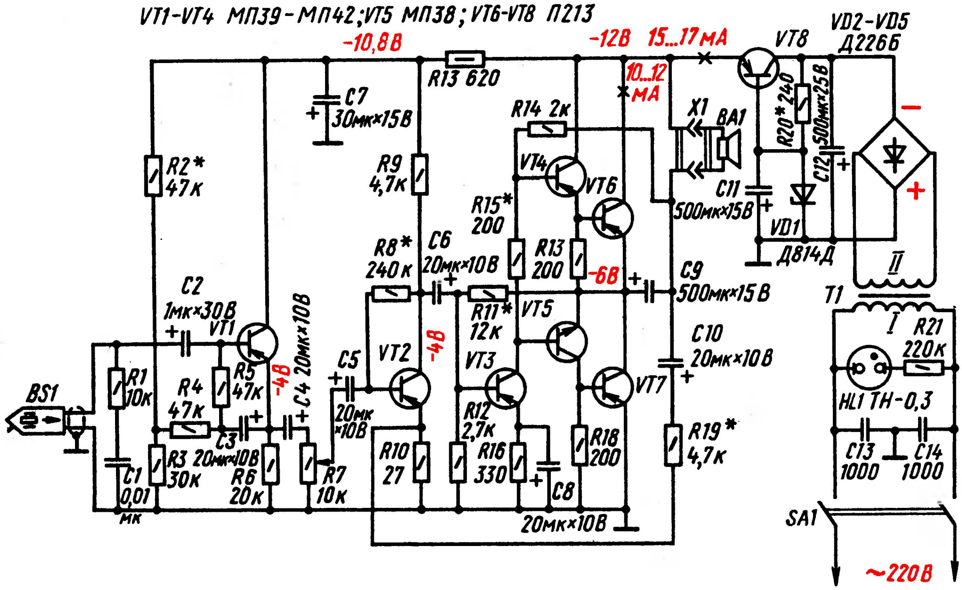

VT1-VT4 МП39-МП42; VT5 МП38; VT6-VT8 П213
-10,8В
-12В
15...17мА
10...12 мА
VT8
VD2-VD5 Д226Б
C7 30мк×15В
R13 620
R14 2к
X1
BA1
R20* 240
C12 500мк×25В
R2* 47к
R9 4,7к
VT4
VT6
R15* 200
C11 500мк×15В
VD1 Д814Д
R8* 240к
C6 20мк×10В
R13 200
-6В
C9 500мк×15В
II
T1
C2 1мк×30В
VT1
-4В
C4 20мк×10В
R11* 12к
VT5
C10 20мк×10В
I
R21 220к
BS1
R1 10к
R4 47к
R5 47к
C3 20мк×10В
C5 20мк ×10В
VT2
VT3
R12 2,7к
VT7
HL1 ТН-0,3
R3 30к
R6 20к
R7 10к
R10 27
R16 330
C8
R18 200
R19* 4,7к
C13 1000
C14 1000
C1 0,01 мк
20мк×10В
SA1
~220В

Рис. 202. Схема усилителя электрофона

рис. 202. На ней из всех элементов ЭПУ показан только звукосниматель BS1, подключенный ко входу усилителя. Усилитель, как и электродвигатель ЭПУ, питается от сети переменного тока.

Выходная мощность усилителя 1 Вт, чувствительность около 100 мВ. Полоса частот равномерно усиливаемых колебаний примерно от 30 до 15 кГц. Электродинамическую головку прямого излучения BA1 выносного громкоговорителя подключают к выходу усилителя через двухконтактный штепсельный разъем X1.

Разбор работы усилителя начну с блока питания. В него входят: сетевой трансформатор T1, двухполупериодный выпрямитель на диодах VD2—VD5, включенных по мостовой схеме, стабилитрон VD1, регулирующий транзистор VT8, и оксидные конденсаторы C12 и C11. Эта часть схемы должна напомнить тебе выпрямитель со стабилизатором выходного напряжения, который я рекомендовал в предыдущей беседе. Только здесь выходное напряжение не регулируется и равно 12 В, т. е. напряжению стабилизации используемого в блоке стабилитрона Д814Д. Это стабилизированное напряжение блока подается к усилителю.

Ток, потребляемый усилителями от блока питания, достигает 250...280 мА, поэтому регулирующий транзистор VT8 стабилизатора напряжения должен быть средней или большой мощности.

Неоновая лампа HL1, подключенная к первичной обмотке трансформатора через гасящий резистор R21, выполняет роль индикатора включения питания. Конденсаторы C13 и C14 снижают уровень электрических индустриальных помех, проникающих в цепи питания усилителя и создающих трески, примешивающиеся к звуковоспроизведению.

Выпрямитель через двухполюсный выключатель SA1 подключают к цепи питания электродвигателя ЭПУ.

Усилитель пятикаскадный, на семи транзисторах VT1—VT7. Из них транзистор VT5 структуры n-p-n, остальные p-n-p. Первый каскад усилителя является согласующим между звукоснимателем и входом основного усилителя. Чтобы он возможно слабее шунтировал звукосниматель, его транзистор VT1 работает как эмиттерный повторитель. Отрицательное напряжение смещения на базу транзистора подается с делителя R2, R3 через резисторы R4 и R5. Между эмиттерной и базовой цепями транзистора VT1 включен конденсатор C3, способствующий увеличению входного сопротивления каскада примерно до 1 мОм, что хорошо согласуется с большим внутренним сопротивлением пьезокерамического звукоснимателя.

Резистор R1 и конденсатор C1 образуют корректирующую цепь, несколько ослабляющую наивысшие частоты звукового диапазона. Но ее в принципе может и не быть.

С резистора R6 — нагрузки транзистора согласующего каскада — сигнал звукоснимателя через конденсатор C4 подается на переменный резистор R7, являющийся регулятором громкости, а с его движка — через конденсатор C5 на базу транзистора VT2. Транзистор этого каскада усилителя включен по схеме ОЭ. Его нагрузкой служит резистор R9. Напряжение смещения на базу подается с коллектора через резистор R8. При таком способе смещения между коллектором и базой транзистора создается отрицательная обратная связь, стабилизирующая работу каскада. Эмиттерный резистор R10, малое сопротивление которого практически не сказывается на режиме транзистора, является элементом другой цепи отрицательной обратной связи, о которой я скажу позже.

Третий каскад на транзисторе VT3, включенном по схеме ОЭ, не только дополнительно усиливает сигнал, поступающий к нему через конденсатор C6 от предыдущего каскада, но и обеспечивает последующим каскадам двухтактный режим работы.

Коллекторную нагрузку транзистора VT3 третьего каскада образуют резисторы R15, R14 и звуковая катушка головки BA1 громкоговорителя. Сопротивление резистора R14 в этой цепи значительно больше суммарного сопротивления резистора R15 и звуковой катушки головки, поэтому на нем в основном происходит падение напряжения усиливаемого сигнала. Оно-то и подается непосредственно на базы транзисторов VT4 и VT5 четвертого каскада. В результате на резисторах R17 и R18, выполняющих роль нагрузок транзисторов VT4 и VT5, создаются одинаковые по амплитуде, но противоположные по фазе импульсы звуковой частоты, которые усиливаются по мощности транзисторами VT6 и VT7 выходного двухтактного каскада. Мощные колебания звуковой частоты со средней точки транзисторов этого каскада (точка симметрии) поступают через конденсатор C9 к головке BA1 громкоговорителя и преобразуются ею в звуковые колебания.

Емкость конденсатора C9 должна быть возможно большей (во всяком случае не меньше 500 мкФ), чтобы не оказывать заметного сопротивления колебаниям низших звуковых частот. Резистор R14, являющийся основной коллекторной нагрузкой транзистора VT3, правым (по схеме) выводом подключен к отрицательному проводнику источника питания не непосредственно, а через головку BA1. При таком его включении между выходом и базой транзистора VT4 создается положительная обратная связь, выравнивающая условия работы транзисторов предоконечного каскада. Так было и в некоторых предыдущих усилителях.

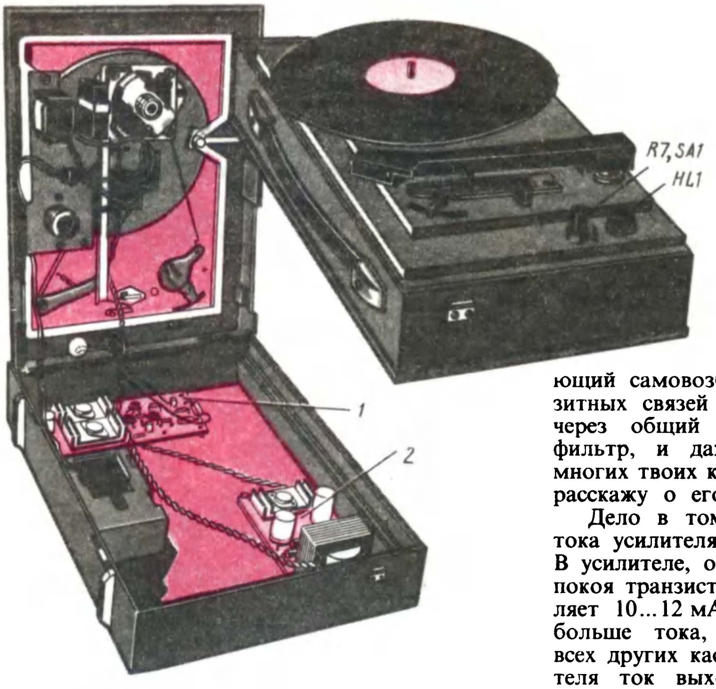


Рис. 203. Размещение усилителя и его блока питания в корпусе электропроигрывателя

Резистор R15, а на его месте, как ты уже знаешь, может быть германиевый диод из серий Д9, Д18, Д20, включенный в прямом направлении, устраняет искажения типа «ступенька», особенно заметные на слух при малой громкости. Через резистор R11 на базу транзистора VT3 вместе с начальным напряжением смещения подается еще переменное напряжение звуковой частоты с точки симметрии выходного каскада. В результате между выходом усилителя и входом третьего каскада возникает отрицательная обратная связь по напряжению, стабилизирующая работу трех каскадов усилителя.

Резистор R16 — элемент термостабилизации режима работы транзистора VT3, а шунтирующий его конденсатор C8 ослабляет отрицательную обратную связь между эмиттером и базой этого транзистора, снижающую усиление каскада. Конденсатор C10 и резистор R19 совместно с резистором R10 создают между выходом и вторым каскадом усилителя цепь отрицательной обратной связи по переменному напряжению. Охватывая четыре каскада, она, несколько снижая чувствительность, улучшает качество работы усилителя в целом. Глубину этой отрицательной обратной связи можно регулировать подбором резистора R19.

Резистор R13 и конденсатор C7 образуют развязывающий фильтр — ячейку, предотвращающий самовозбуждение усилителя из-за паразитных связей между его выходом и входом через общий источник питания. Подобный фильтр, и даже не один, может быть во многих твоих конструкциях, поэтому подробнее расскажу о его действии.

Дело в том, что основным потребителем тока усилителя является его выходной каскад. В усилителе, о котором сейчас идет речь, ток покоя транзисторов выходного каскада составляет 10...12 мА, что уже более чем в 2 раза больше тока, потребляемого транзисторами всех других каскадов. Во время работы усилителя ток выходного каскада изменяется со звуковой частотой и при наиболее сильных сигналах увеличивается до 200...250 мА. С такой же частотой изменяется в небольших пределах и напряжение источника питания, а значит (если фильтра не будет), и напряжение в цепях транзисторов других каскадов. При этом между выходом и входом усилителя через общий источник питания может возникнуть положительная, в данном случае — паразитная обратная связь, и если она достаточно сильная, то усилитель самовозбуждается.

Чтобы предотвратить это неприятное явление, в усилитель введен фильтр R13C7. По своему действию он должен напомнить тебе ячейку сглаживающего фильтра выпрямителя. На резисторе R13 происходит падение напряжения, в том числе и колебаний звуковой частоты, создаваемых в общей цепи питания выходным каскадом. Конденсатор C7 включен, как и в выпрямителе, параллельно источнику тока. При повышении напряжения на его обкладках он заряжается больше, а при понижении напряжения в цепи питания он разряжается и тем самым поддерживает постоянное напряжение в тех участках цепи, к которым он подключен. Таким образом, ячейка R13C7 развязывает, как бы разобщает, каскады усилителя по переменному току, что предотвращает самовозбуждение, поэтому ее и называют развязывающим фильтром.

Внешний вид и внутреннее устройство электрофона показаны на рис. 203. Усилитель 1 и блок питания 2 смонтированы на отдельных платах, которые (с учетом конструктивных особенностей электропроигрывателя) винтами с гайками на невысоких цилиндрических стойках укреплены на дне корпуса. Регулятор громкости R7, объединенный с выключателем питания SA1, и индикатор включения питания HL1 находятся на панели ЭПУ возле тонарма звукоснимателя.

Гнездовую часть штепсельного разъема (двухгнездовую колодку) для соединения звуковой катушки головки громкоговорителя с выходом усилителя можно укрепить на одной из боковых стенок.

Внешний вид монтажных плат усилителя, блока питания и соединения деталей на них показаны на рис. 204 и 205. Их печатные платы выполнены из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм способом, описанным в восьмой беседе (см. с. 133). Но монтаж может быть навесным, с использованием пустотелых заклепок или шпилек, запрессованных в отверстиях в гетинаксовых или текстолитовых платах.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ транзисторов может быть 40...50. В первом каскаде усилителя желательно использовать малошумящий транзистор МП39Б, П27А или ГТ310А. Транзистор МП38 (VT5) можно заменить транзисторами МП35– МП37, а П213 –

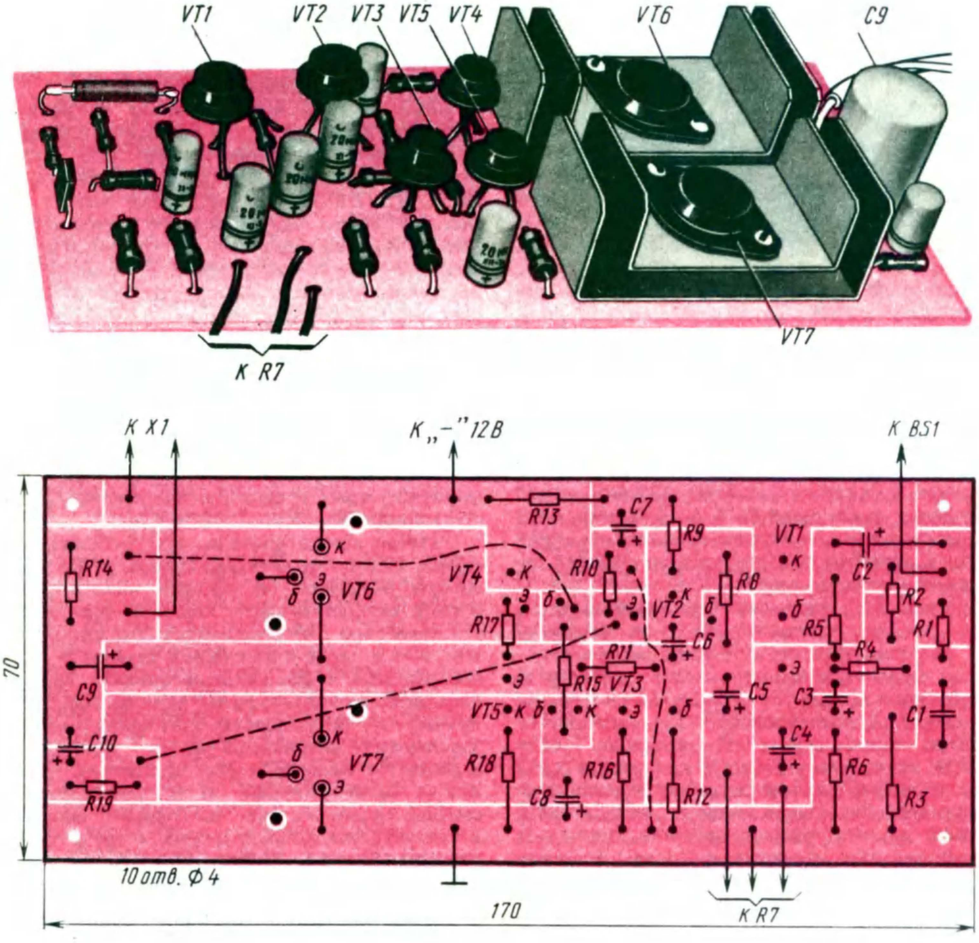

VT1
VT2
VT3
VT5
VT4
VT6
C9
VT7
К R7
К X1
К „–" 12В
К BS1
R13
C7
R9
VT1
к
C2
R14
к
э
б
VT6
VT4
к
R10
к
VT2
б
R8
R2
R1
э
б
R5
R17
C6
R11
R4
э
C9
R15
VT3
C5
C3
C1
VT5
к
б
к
э
б
C10
C4
к
б
VT7
э
R18
R16
R6
R3
C8
R12
R19
70
10 отв. Ф4
170
К R7

Рис. 204. Внешний вид и плата усилителя

транзисторами П214—П217. Все постоянные резисторы МЛТ-0,5 (можно МЛТ-0,25, МЛТ-0,125), переменный резистор R7 (с выключателем питания SA1) СП-4Вм. Все оксидные конденсаторы, кроме С2 (для удобства монтажа он К50-3), типа К50-6. Остальные конденсаторы любые (МБ, КЛС, КСО, К20-7А), но номинальное напряжение конденсаторов С13 и С14 должно быть не менее 400 В. Динамическая головка ВА1 громкоговорителя мощностью не менее 1 Вт (например, 1ГД-36, 1ГД-40, 2ГД-22, 3ГД-31).

Мощные транзисторы усилителя и стабилизатора напряжения блока питания снабжены теплоотводами (радиаторами) — П-образными пластинками из дюралюминия, плотно прилегающими к корпусам транзисторов (рис. 206). Вокруг крепежных винтов теплоотводов с транзисторами фольгу на плате нужно удалить. Выводы транзисторов, на которые надеты отрезки поливинилхлоридной трубки, соединены с соответствующими им токонесущими площадками плат, изолированными монтажными проводниками.

В качестве сетевого трансформатора блока питания использован выходной трансформатор кадровой развертки ТВК-110-Л-2. Его обмотка I (2430 витков провода ПЭВ-1 0,15) работает как сетевая, обмотка II (150 витков провода ПЭВ-1 0,55) — как понижающая, а обмотка III не используется. Такую функцию в блоке питания может выполнять также трансформатор ТВК-90. Для выпрямителя пригодны любые плоскостные диоды. Стабилитрон Д815Д можно заменить близкими ему по напряжению стабилизации стабилитронами Д811, Д813, Д814.

Конструкция громкоговорителя может быть как горизонтальной (рис. 207), так и вертикаль-

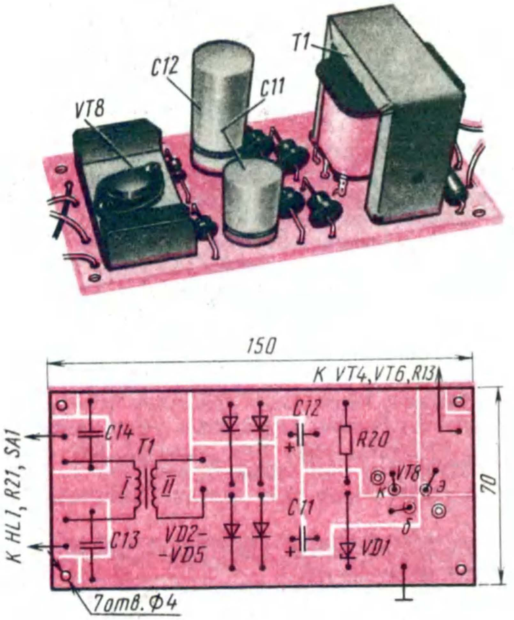


Рис. 205. Внешний вид и плата блока питания усилителя

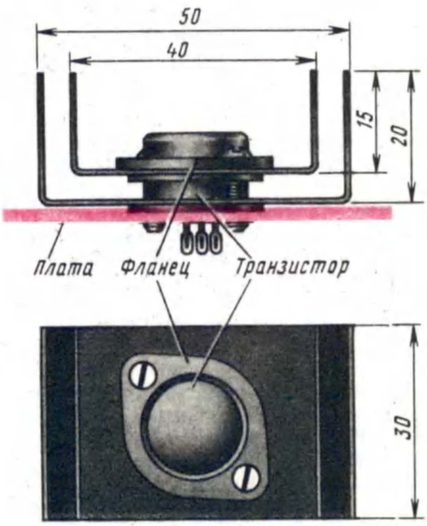
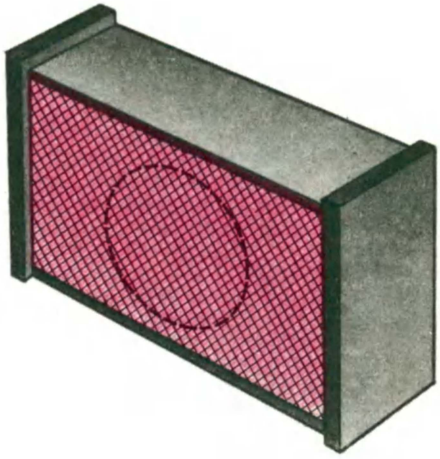


Рис. 206. Мощный транзистор с теплоотводом



ной — это дело вкуса. Для его ящика используй хорошо проклеенную толстую фанеру или плиту спрессованной древесной стружки (ДСП). В лицевой панели выпили (или выруби стамеской) отверстие по диаметру диффузора головки и спереди задрапируй нетолстой декоративной тканью. Части ящика соединяй вместе на клею с помощью брусков по углам внутри. Очень важно, чтобы все соединения деталей ящика были прочными, иначе звук будет дребезжащим. К звуковой катушке головки подключи двухжильный провод длиной 1,5 м со штепсельной частью разъема на конце для подключения к выходу усилителя.

Внимательно проверь монтаж усилителя и блока питания по принципиальной схеме (нет ли ошибок?), прочисть прорези между токонесущими площадками плат (чтобы удалить случайно попавшие капельки припоя) и только после этого, не укрепляя пока платы в корпусе ЭПУ, приступай к налаживанию электрофона.

Сначала испытай блок питания без усилителя, но подключив к его выходу временную нагрузку — резистор МЛТ-0,5 сопротивлением 1...1,5 кОм. Включив питание, вольтметром постоянного тока измерь напряжение на выходе блока. Оно должно быть равно напряжению стабилизации используемого стабилитрона VD1 (11,5...13,5 В). Измерь ток, текущий через стабилитрон, и, подбирая резистор R20, установи его равным 10...15 мА. Если теперь к выходу блока подключить резистор сопротивлением 30...40 Ом, то ток через стабилитрон несколько уменьшится, а напряжение на выходе блока должно остаться почти неизменным. Так ты не только испытаешь, но и проверишь работоспособность блока питания под нагрузкой.

Затем налаживай усилитель. При этом к нему надежно должна быть подключена головка громкоговорителя. Если в монтаже нет ошибок или коротких замыканий в цепях питания, то суммарный ток покоя, потребляемый усилителем от блока питания, не должен превышать 15...20 мА. Измерить его можно, включив миллиамперметр в разрыв минусового соединительного проводника. После этого измерь и, если надо, подгони режимы работы транзисторов.

Указанные на принципиальной схеме напряжения на электродах транзисторов измерены относительно «заземленного» проводника вольтметром с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В (см. седьмую беседу). Напряжение в точке симметрии выходного каскада, равное половине напряжения источника питания, устанавливай подбором резистора R11, а ток покоя коллекторной цепи транзисторов VT6 и VT7, равный 10...12 мА, подбором резистора R15. Напомню: во время замены резистора R15 усилитель обязательно должен быть обесточен, иначе транзисторы предоконечного каскада из-за чрезмерно больших токов через их p-n переходы могут выйти из строя. Напряжение на коллекторе транзистора VT2 устанавливай подбором резистора R8, на эмиттере транзистора VT1 — подбором резистора R2.

Установив рекомендуемые режимы работы транзисторов, проиграй грампластинку — звук, создаваемый головкой, должен быть громким и неискаженным. Громкость звука должна плавно увеличиваться при вращении ручки резистора R7 в направлении движения часовой стрелки. Если, наоборот, громкость нарастает при вращении ручки в обратном направлении, поменяй местами подключение проводников, идущих к крайним выводам этого резистора.

Можно ли электрофон превратить в радиолу? Можно! Надо лишь дополнить его радиочастотным блоком для приема радиовещательных станций. Как это сделать? Об этом я расскажу в следующей беседе.

А сейчас — еще один вариант усилителя ЗЧ.

УСИЛИТЕЛЬ ПЕРЕНОСНОГО РАДИОУЗЛА

Туристский палаточный лагерь или полевой стан ученической производственной бригады, где, возможно, тебе и твоим товарищам по классу или клубу по интересам придется быть летом, желательно радиофицировать, чтобы можно было не только передавать по лагерю объявления, но и послушать музыку, новости дня, узнать, какая ожидается погода. Смонтировать, наладить и испытать в работе усилитель для такого радиоузла надо заблаговременно. В этом тебе помогут товарищи, среди которых, несомненно, найдутся и радиолюбители.

Основой такого радиоузла служит усилитель ЗЧ, принципиальная схема которого показана на рис. 208. Он, как видишь, с двухтактным трансформаторным усилителем мощности, что сделано из соображения экономии энергии источника питания при необходимом усилении колебаний звуковой частоты. Выходная мощность усилителя сравнительно небольшая — около 1,5 Вт, но ее при рациональном расходовании вполне достаточно для радиофикации 10...12 палаток или озвучивания костровой, игровой или иной площадки, где по вечерам собираются ребята. Усилитель позволяет передавать объявления, информировать о планах и событиях лагеря, транслировать концерты грамзаписи, а если к нему добавить приемную приставку, то и программы местной вещательной станции. Источника питания, составленного из шести батарей 3336, при ежедневной 4...5-часовой работе радиоузла хватает на 4...5 дней, а батареи из девяти элементов 373 при той же нагрузке — на месяц.

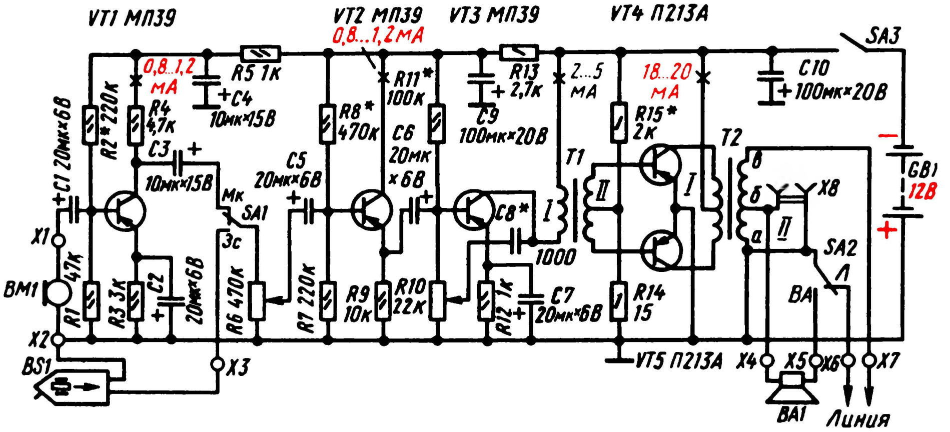

VT1 МП39
VT2 МП39
0,8...1,2 мА
VT3 МП39
VT4 П213А
SA3
0,8...1,2 мА
R5 1к
+C4 10мк×15В
R11* 100к
R13 2,7к
+ C9 100мк×20В
2...5 мА
18...20 мА
C10 +100мк×20В
R2* 220к
R4 4,7к
+C1 20мк×6В
C3 10мк×15В
C5 20мк×6В
R8* 470к
C6 20мк ×6В
R15* 2к
T2
T1
GB1 12В
Мк
SA1
Зс
C8*
I
II
I
в
б
а
II
X8
1000
SA2
Л
X1
BM1
47к
R1
R3 3к
C2 20мк×6В
R6 470к
R7 220к
R9 10к
R10 22к
R12 1к
C7 20мк×6В
R14 15
BA
X2
BS1
X3
VT5 П213А
X4
X5
X6
X7
BA1
Линия

Рис. 208. Схема усилителя переносного радиоузла

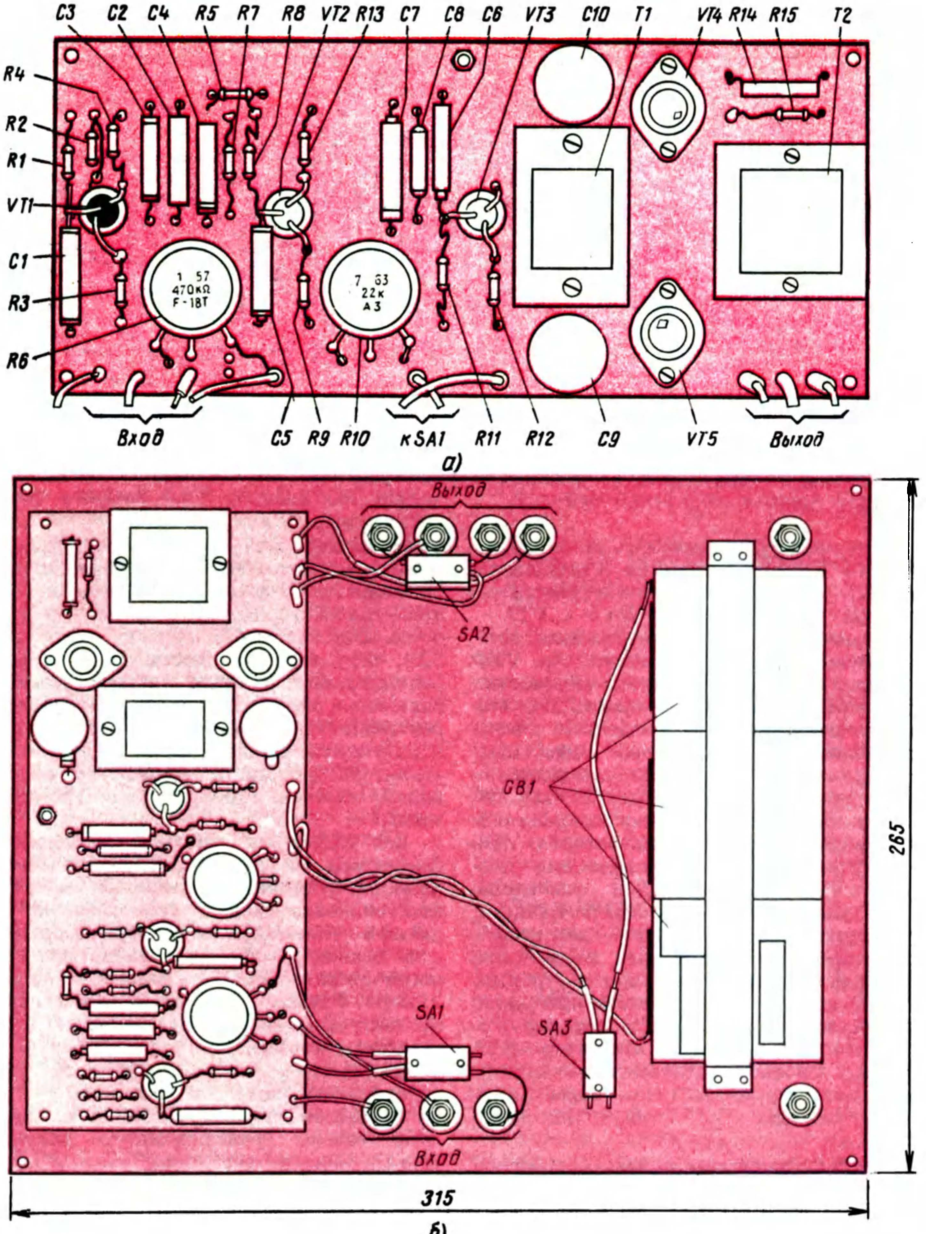
Усилитель четырехкаскадный, пятитранзисторный. Его первый каскад на транзисторе VT1 является микрофонным усилителем, второй и третий на транзисторах VT2 и VT3 — предварительным усилителем напряжения, четвертый выходной каскад на транзисторах VT4 и VT5 — двухтактным усилителем мощности. Транзистор VT2 включен по схеме ОК; все остальные транзисторы — по схеме ОЭ. Связь между первыми тремя каскадами — емкостная, а между третьим и выходным каскадами — трансформаторная. Трансформатор T1, как ты уже знаешь, обеспечивает подачу напряжений звуковой частоты на базы транзисторов VT4 и VT5 в противофазе, что необходимо для работы двухтактного усилителя мощности. Делители R1R2, R7R8, R10R11, R14R15 создают на базах транзисторов требуемые напряжения смещения. Для повышения температурной стабильности работы транзисторов VT1 и VT3 в их эмиттерные цепи включены резисторы R3 и R12. Резистор R5 и конденсатор C4, а также резистор R13 и конденсатор C9 образуют ячейки развязывающих фильтров, предотвращающие паразитную связь между каскадами через общий источник питания.

Регулирование громкости осуществляется переменным резистором R6, а частотная коррекция усилительного тракта — резистором R10, образующим вместе с конденсатором C8 цепь отрицательной обратной связи между коллектором и базой транзистора VT3.

Микрофон BM1 подключают к зажимам X1 и X2, а звукосниматель BS1 — к зажимам X2 и X3 входа усилителя. Переход с одного вида передачи на другой осуществляется переключателем SA1. При включении микрофона его сигнал звуковой частоты через конденсатор C1 подается на вход первого каскада, усиливается транзистором VT1, а от него, пройдя через конденсатор C3, контакты переключателя SA1, регулятор громкости R6 и конденсатор C5, поступает на вход второго каскада. При включении звукоснимателя сигнал подается (через резистор R6 и конденсатор C5) сразу на вход второго каскада, минуя первый. С выхода усилителя мощности усиленный сигнал звуковой частоты поступает к громкоговорителям.

Вся вторичная обмотка выходного трансформатора T2 рассчитана на питание трансляционной линии, загруженной маломощными электродинамическими головками с согласующими (понижающими) трансформаторами, а ее секция а — б — на питание одного громкоговорителя BA1 с головкой мощностью 2...3 Вт. Разъем X8, подключенный параллельно секции а — б обмотки, служит для контрольного телефона. Трансляционную линию подключают к зажимам X6 и X7, а громкоговоритель BA1 — к зажимам X4 и X5. С помощью переключателя SA2 включают либо только трансляционную линию, либо только громкоговоритель.

В собранном виде усилитель радиоузла может представлять собой фанерный чемодан с откидной крышкой, являющейся акустической доской с укрепленной на ней головкой мощностью 2...3 Вт, например 2ГД-28, 3ГД-1. С внутренней стороны в крышке могут быть ячейки, образованные фанерными перегородками, для хранения малогабаритных громкоговорителей-радиоточек.


C3
C2
C4
R5
R7
R8
VT2
R13
C7
C8
C6
VT3
C10
T1
VT4
R14
R15
T2
R4
R2
R1
VT1
C1
R3
R6
1 57
470кΩ
F-18T
7 63
22к
А 3
Вход
C5
R9
R10
к SA1
R11
R12
C9
VT5
Выход
а)
Выход
SA2
GB1
SA1
SA3
Вход
265
315

б)

Рис. 209. Плата усилителя (*а*) и вид на сборочную панель сзади (*б*)

Монтажная плата усилителя, входные зажимы, переключатели SA1, SA2, батарея питания GB1 и ее выключатель SA3, разъем X8 контрольного телефона размещены на сборочной панели, являющейся передней стенкой корпуса усилителя (рис. 209). Между платой усилителя и батареей питания на панели предусмотрено место для радиоприемной приставки или малогабаритного транзисторного приемника. Ориентировочные размеры платы усилителя 230 × 100 мм, сборочной панели — 315 × 265 мм.

Транзисторы VT4 — VT3 могут быть МП39 — МП42, а VT4 и VT5 — П214 — П217 с любым буквенным индексом. Коэффициент $h_{21э}$ транзисторов — от 30 до 100.

Переменные и постоянные резисторы могут быть любых типов на любые мощности рассеяния. Оксидные конденсаторы — К50-6, К50-3, конденсатор С8 — БМ, КД или КСО. Переключатели SA1 и SA2 входа и выхода усилителя, выключатель питания SA3 — тумблеры ТВ2-1. Зажимы любые.

Межкаскадный и выходной трансформаторы самодельные. Данные межкаскадного трансформатора Т1: магнитопровод из пластин Ш-9; толщина набора 15 мм; первичная I обмотка содержит 1600 витков провода ПЭВ-1 0,15, вторичная II — 500 витков такого же провода с отводом от середины (250 + 250 витков). Магнитопровод выходного трансформатора Т2 собран из пластин Ш-12; толщина набора 20 мм. Первичная I обмотка содержит 320 витков провода ПЭВ-1 0,31 с выводом от середины (160 + 160 витков), а вторичная II — 160 витков провода ПЭВ-1 0,69 с отводом от 90-го витка (секция а — б), считая от заземленного конца. Трансформаторы укреплены на плате с помощью гетинаксовых накладок и винтов с гайками.

Монтажную плату и сборочную панель усилителя желательно выпилить из листового гетинакса или текстолита толщиной 2...2,5 мм.

Для радиофикации палаток лучше всего подойдут громкоговорители с маломощными головками, например 0,05ГД-2, 0,1ГД-9. Роль переходных трансформаторов могут выполнить малогабаритные выходные трансформаторы, предназначенные для работы в двухтактных выходных каскадах транзисторных приемников. Схема и возможная конструкция такого громкоговорителя-радиоточки показаны на рис. 210. Трансформатор подключают к трансляционной линии любой половиной его первичной обмотки. Вторичная (понижающая) обмотка соединена со звуковой катушкой головки громкоговорителя.

Но трансформатор радиоточки может быть и самодельным. Чтобы трансформатор был малогабаритным, его магнитопровод надо собрать из пермаллоевых пластин Ш-6, толщина набора 6 мм. Первичная обмотка трансформатора с таким магнитопроводом должна содержать 450 витков провода ПЭВ-1 0,1, вторичная — 80 витков провода ПЭВ-1 0,23.

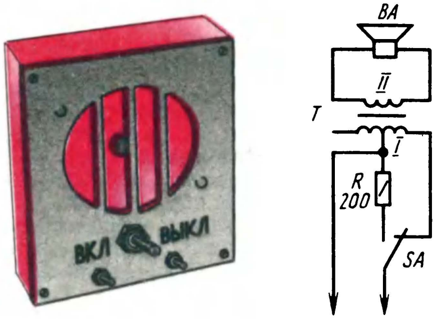


Рис. 210. Схема и конструкция громкоговорителя-радиоточки

Переключатель SA (тумблер) служит для включения и выключения радиоточки. Когда радиоточка выключена, вместо нее к линии подключается ее эквивалент — резистор R сопротивлением 200 Ом. Это сделано для того, чтобы общая нагрузка усилителя оставалась всегда примерно одинаковой независимо от числа включенных и выключенных радиоточек.

Динамические головки вместе с переходными трансформаторами, переключателями и резисторами можно смонтировать в футлярах из фанеры, оргалита или плотного толстого картона. Поверхности стенок футляров полезно покрыть 2—3 раза олифой или масляным лаком для защиты от влаги. Выполнять функцию микрофона может одна из радиоточек.

Но значительно лучше функцию микрофона будет выполнять телефонный капсюль ДЭМШ-1, подключенный ко входу усилителя всей обмоткой (средний вывод остается свободным). Держатель капсюля надо выточить или вырезать из сухого дерева и приделать к нему ручку (рис. 211, *а*). Капсюль должен плотно

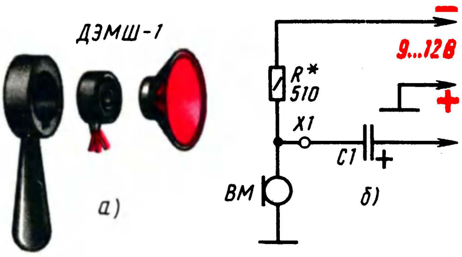


Рис. 211. Микрофон радиоузла на базе капсюля ДЭМШ-1 (*а*) и схема включения угольного микрофона (*б*)

входить в отверстие держателя. Его выходными зажимами могут служить винты с гайками. Рупор, без которого эффективность капсюля снижается, надо склеить из плотного картона, просушить, а затем пропитать масляным лаком или клеем БФ-2. Его кольцо должно плотно входить в отверстие капсюльного держателя.

Можно также использовать угольный микрофон, например капсюль МК-10 или МК-59, включив его по схеме, показанной на рис. 211, *б*. Здесь резистор R служит ограничителем тока, текущего через капсюль, и одновременно нагрузкой капсюля. Напряжение звуковой частоты через зажим X1 и конденсатор C1 подается на базу транзистора VT1 усилителя. Для питания такого микрофона используется батарея усилителя. Сопротивление ограничительного резистора R надо подобрать опытным путем, добиваясь неискаженного звуковоспроизведения.

Налаживание усилителя радиоузла ничем не отличается от налаживания подобных ему транзисторных усилителей с двухтактным выходным каскадом. Так, ток покоя транзисторов выходного каскада устанавливают подбором резистора R15, транзистора VT3 — подбором резистора R11, транзисторов VT2 и VT1 — резисторов R8 и R2 соответственно. Тембр звука регулируют переменным резистором R10. При желании сильнее подчеркнуть низшие звуковые частоты, емкость конденсатора C8 следует увеличить до 4700...6800 пФ.

Для приема и трансляции программ радиовещательных станций можно использовать любой транзисторный приемник, подключая его выход ко входу усилителя радиоузла. Но для этой цели можно смонтировать простую однотранзисторную приставку, например, по схеме на рис. 212. Катушка L1 и подстроечный конденсатор C2 вместе с антенным устройством образуют колебательный контур, настроенный на местную радиостанцию. Катушка включена как автотрансформатор. Ее нижняя (по схеме) секция, содержащая примерно десятую часть витков, является катушкой связи. Создающееся на ней напряжение радиочастотного сигнала через конденсатор C3 поступает на базу транзистора, работающего в режиме детектирования и усиления колебаний звуковой частоты. Через конденсатор C4 и переключатель усилителя, который теперь должен быть трехпозиционным, сигнал звуковой частоты подается на вход второго каскада усилителя радиоузла.

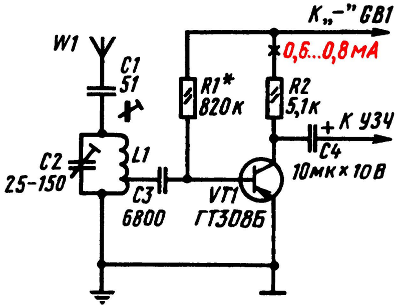


Рис. 212. Радиоприемная приставка

В лагерных условиях антенной может служить отрезок изолированного провода длиной 10...15 м, подвешенной на сучке дерева, а заземлением — железный штырь, вбитый в землю.

Трансляционную линию прокладывай любыми изолированными проводами, укрепляя их на опорах палаток, кольях или ветках деревьев. Главное — следить, чтобы в линии не было замыканий и утечки тока звуковой частоты в землю через оголенные участки линейных проводов. Эта линия — времянка. Кончится лето — провода аккуратно сверни и убери до следующего лета.

Отправляясь с радиоузлом в туристский лагерь или на полевой стан производственной бригады, захвати с собой авометр и небольшой стержень из красной меди, которым (нагрев его на горячих углях) можно было бы пользоваться как паяльником. Мало ли что может случиться с усилителем радиоузла в дороге или в лагере!

* * *

Итак, сделан еще один шаг к практическому познанию радиотехники. Шаг большой, непростой и очень важный. Потому что, как я уже говорил в начале беседы, усилитель ЗЧ является составной частью многих современных радиотехнических устройств. В этом ты еще не раз убедишься.

БЕСЕДА ДВЕНАДЦАТАЯ

ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Изучение и конструирование приемников прямого усиления надо рассматривать как логическое продолжение твоего нарастающего по сложности радиотехнического творчества.

Напомню: приемником прямого усиления называют радиоприемное устройство, в котором происходит только одно преобразование модулированных колебаний радиочастоты — детектирование. До детектора происходит настройка и усиление сигнала радиостанции, после детектора — усиление колебаний звуковой частоты и преобразование их в звук. Усилитель радиочастоты обеспечивает нормальную работу детектора, а усилитель ЗЧ — нормальную работу динамической головки громкоговорителя. Усилители, таким образом, составляют основу приемников прямого усиления, обеспечивающих громкий прием радиовещательных станций.

ОТ УСИЛИТЕЛЯ — К ПРИЕМНИКУ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Первый шаг от усилителя к приемнику прямого усиления тобой уже сделан. Когда? Вспомни шестую беседу. Тогда ты экспериментировал с усилителем на одном транзисторе, подключая его к детекторному приемнику. В результате у тебя получился простейший приемник прямого усиления — детекторный с однокаскадным усилителем ЗЧ (см. рис. 91). Это был приемник 0-V-1.

А в предыдущей беседе? Если на вход любого их тех усилителей ты подавал сигнал от детекторного приемника, то усилитель также превращался в приемник прямого усиления. Так, усилитель смонтированный по любой из схем на рис. 189 или 191, в сочетании с детекторным приемником становился приемником 0-V-2, а с усилителем по схеме на рис. 199 — приемником 0-V-3.

Для закрепления в памяти принципа построения и работы таких приемников советую

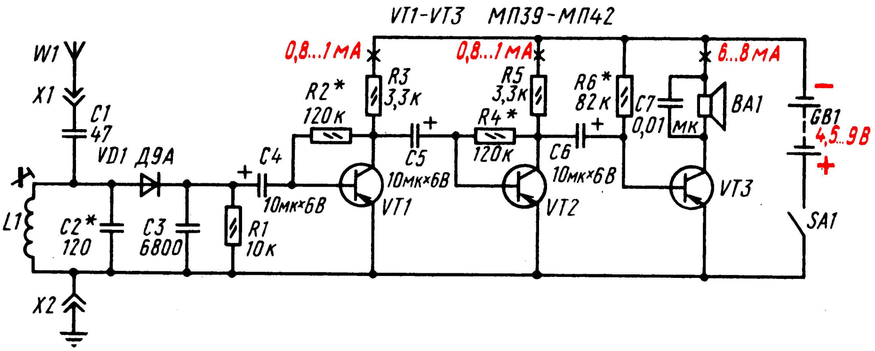


Рис. 213. Принципиальная схема приемника О-V-3

смонтировать и испытать приемник, схема которого изображена на рис. 213. Это приемник 0-V-3 с настройкой на одну местную радиовещательную станцию. Его входной колебательный контур образуют катушка L1 с конденсатором C2 и подключенные к ним внешняя антенна W1 и заземление. Грубая настройка контура на волну радиостанции осуществляется подбором конденсатора C2, а точная — изменением индуктивности катушки подстроечным ферритовым сердечником.

Входной колебательный контур с диодом VD1 и резистором R1, выполняющим роль нагрузки детектора, образуют не что иное, как знакомый тебе детекторный приемник. Сигнал звуковой частоты, создающийся на резисторе R1, через конденсатор C4 поступает на вход усилителя ЗЧ, усиливается тремя его каскадами и головкой громкоговорителя, включенной в коллекторную цепь выходного транзистора VT3, преобразуется в звуковые колебания. Предполагается, что для приемника будет использован абонентский громкоговоритель с динамической головкой мощностью 0,25...0,5 Вт, а его согласующий трансформатор будет выполнять роль выходного трансформатора приемника.

Все транзисторы включены по схеме ОЭ. Начальное напряжение смещения на базы транзисторов VT1 и VT2 подается с коллекторов через соответствующие им резисторы R2 и R4, что улучшает термостабильность режима работы этих транзисторов.

Для питания приемника используй одну или две соединенные последовательно батареи 3336. Независимо от напряжения источника питания коллекторные токи транзисторов устанавливай те, что указаны на схеме. Сравни работу приемника при разных напряжениях источника питания.

Детали приемника можно смонтировать на гетинаксовой плате размерами примерно 70 × 90 мм (рис. 214). Опорными точками монтажа служат проволочные стойки или пустотелые заклепки. В колебательном контуре используй катушку с ферритовым стержнем, о конструкции которой я рассказывал в восьмой беседе (рис. 142). Оксидные конденсаторы C4—C6 типа К50-3, К53-1 (или К50-6); остальные конденсаторы и резисторы любые. Обращаю внимание на конструкцию разъема X2, выполняющего функцию гнезда для подключения заземления и выключателя питания. Его гнездовая часть состоит из двух колец или коротких металлических трубочек, прикрепленных к плате. Когда в них плотно вставляют контактную вилку провода заземления, они соединяются между собой и таким образом включают питание приемника.

Монтажную плату крепи в футляре абонентского громкоговорителя в любом положении. Батарея может быть под платой или рядом с ней. Получится громкоговорящая радиоточка.

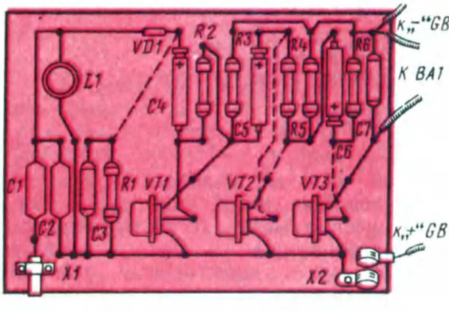


Рис. 214. Монтажная плата приемника

Что надо учесть при монтаже приемника? В первый каскад усилителя надо ставить тот из транзисторов, который имеет наибольший статический коэффициент передачи тока, а в выходной — с наименьшим $h_{21Э}$. Если, например, коэффициент $h_{21Э}$ одного транзистора будет 40, второго — 80, а третьего — 60, то первый из них должен работать в третьем, второй — в первом, а третий — во втором каскадах. Подбирая сопротивления резисторов смещения, попробуй изменять и нагрузочные резисторы (от 3 до 10 кОм), добиваясь наибольшей громкости, сохраняя при этом токи покоя коллекторных цепей, указанные на схеме.

Конденсатор С2, подбором которого осуществляется грубая настройка приемника на волну местной радиовещательной станции (а точная — перемещением катушки L1 по ферритовому стержню), можно заменить подстроечным типа КПК-2. Он не только облегчит настройку контура, но, возможно, позволит, пользуясь им как конденсатором переменной емкости, настраивать приемник на две радиостанции.

Если по каким-то причинам приемник сразу не станет работать, то прежде всего измерь коллекторные токи транзисторов и испытай его по частям, пользуясь простейшим генератором сигналов (см. рис. 102): сначала проверь входную часть, как у детекторного приемника, а потом усилитель. Конечно, все это надо делать на макетной панели, а затем смонтировать детали на постоянной плате, предварительно составив монтажную схему с учетом размеров и конструктивных особенностей используемых деталей.

Можно ли этот или более простой, например с двумя каскадами усиления колебаний звуковой частоты, приемник сделать походным? Можно. Но пользоваться им придется только на привалах. Антенной будет служить изолированный провод длиной 8...10 м, подвешенный одним концом за сучок высокого дерева, а заземлением — металлический штырь, вбитый поглубже в землю. Без качественной антенны и заземления такой приемник будет работать слабо — чувствительность мала. Чтобы повысить чувствительность, к нему надо добавить усилитель радиочастоты.

УСИЛИТЕЛЬ РАДИОЧАСТОТЫ И МАГНИТНАЯ АНТЕННА

Когда дают оценку тому или иному приемнику, имеют в виду не только громкость и естественность воспроизводимого звука, что определяется главным образом схемным решением и качеством работы усилителя радиочастоты, но и такие его параметры, как селективность (избирательность) и чувствительность.

Под термином селективность подразумевается способность приемника выделять из всех колебаний радиочастоты, возникающих в его антенне, колебания только той частоты, на которую он настроен. Когда приемник четко выделяет станцию, на которую он настроен, о нем говорят как о приемнике с хорошей селективностью. Если при приеме какой-то станции прослушиваются другие, близкие по частоте радиостанции или, как говорят, станции соседнего канала, о таком приемнике говорят, что его селективность плохая или недостаточно хорошая. Один из способов повышения селективности простейшего приемника — ослабление связи настраиваемого контура с внешней антенной, в более сложном — увеличении числа контуров, настраиваемых на частоту принимаемой станции.

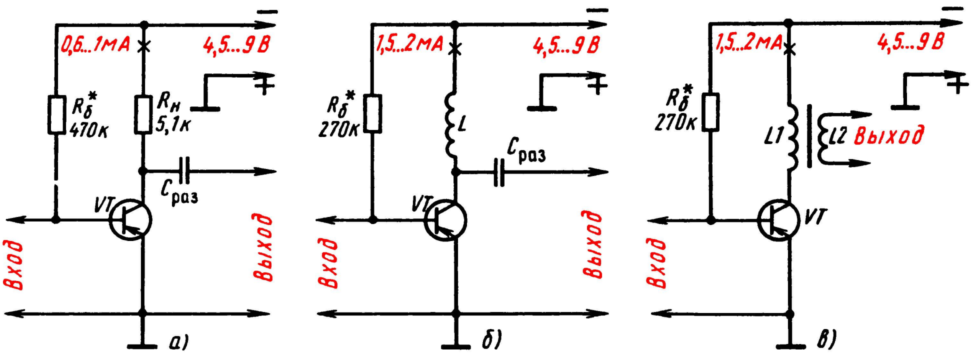
Другой качественный показатель приемника — чувствительность — характеризует способность его «отзываться» на слабые сигналы отдаленных станций. Если приемник не реагирует на сигналы отдаленных станций, о таком приемнике говорят, что он обладает малой или плохой чувствительностью. Если же он принимает большое число отдаленных и маломощных станций, говорят, что этот приемник обладает хорошей чувствительностью.

Чувствительность приемника зависит от качества его входной цепи, числа каскадов усиления радиочастоты, используемых в них транзисторов и режимов их работы.

Любительский транзисторный приемник прямого усиления, обеспечивающий уверенный прием местных и отдаленных мощных радиовещательных станций, имеет обычно один настраиваемый контур, один-два каскада усиления модулированных колебаний радиочастоты, а если он портативный, то и внутреннюю магнитную антенну.

Схема и сущность действия каскада усиления колебаний радиочастоты аналогичны схеме и работе каскада предварительного усиления колебаний звуковой частоты. Разница лишь в нагрузке коллекторной цепи, где получается усиленный транзистором сигнал. Этой нагрузкой, как и в каскаде усиления звуковой частоты, может быть резистор $R_н$ (рис. 215, *а*) сопротивлением 3,3...6,8 кОм. Усиленный сигнал, создающийся на нем, через разделительный конденсатор $C_{раз}$ поступает на вход второго каскада усиления радиочастоты, если усилитель двухкаскадный, или к детектору.

Лучше, однако, если коллекторной нагрузкой транзистора будет не резистор, а высокочастотный дроссель L (рис. 215, *б*), а еще лучше — высокочастотный трансформатор L1, L2 (рис. 215, *в*). Дроссель или трансформатор,



0,6...1мА
4,5...9В
−
+
Rб*
470к
Rн
5,1к
Cраз
VT
Вход
Выход
а)
1,5...2мА
4,5...9В
−
+
Rб*
270к
L
Cраз
VT
Вход
Выход
б)
1,5...2мА
4,5...9В
−
+
Rб*
270к
L1
L2 Выход
VT
Вход
в)

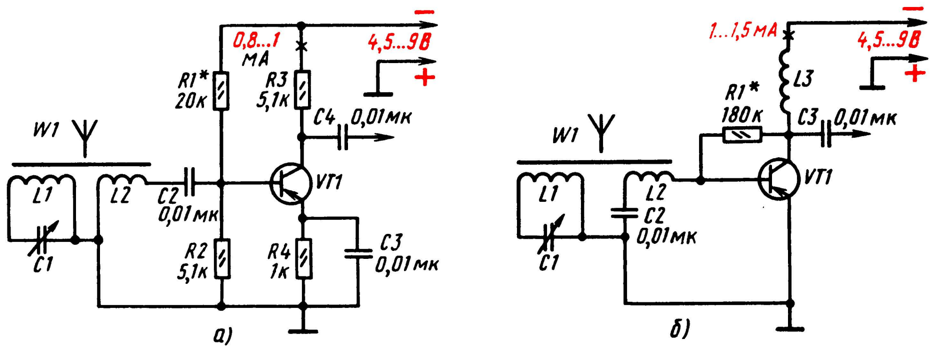
Рис. 215. Каскады усиления радиочастоты на транзисторах структуры p-n-p (для транзисторов структуры n-p-n полярность источника питания должна быть изменена на обратную)

оказывающий радиочастотному сигналу большее, чем резистор, сопротивление, повышает усиление каскада. Трансформатор, кроме того, позволяет путем подбора коэффициента трансформации наилучшим образом передать высокочастотную энергию из коллекторной цепи транзистора-усилителя во входную цепь транзистора второго каскада или детектора, согласовать сопротивление этих цепей.

Независимо от схемы и нагрузки усилительного каскада на базу германиевого транзистора вместе с усиливаемым сигналом должно подаваться (относительно эмиттера) начальное напряжение смещения 0,1...0,2 В, а на базу кремниевого транзистора 0,5...0,7 В.

В каскадах усиления колебания радиочастоты используют маломощные транзисторы с граничной частотой 10 МГц и более. Из числа транзисторов структуры p-n-p — это, например, транзисторы серий П401 — П403, П416, ГТ308, ГТ309, ГТ310, а из числа транзисторов структуры p-n-p — КТ311, КТ315, КТ301 и многие другие. Способы подачи смещения и термостабилизация режимов работы транзисторов радиочастотных каскадов такие же, как в усилителях ЗЧ.

Схему наиболее часто используемого радиолюбителями однокаскадного усилителя РЧ с термостабилизацией режима работы транзистора и входными цепями приемника ты видишь на рис. 216, *а*. Это, так сказать, классический вариант однокаскадного радиочастотного усилителя. Колебательный контур входной цепи, определяющий настройку приемника, образуют катушка L1 с ферритовым стержнем внутри и конденсатор переменной емкости C1. Ферритовый стержень с катушкой L1, взятые вместе, это и есть магнитная антенна, о свойствах и конструкции которой я подробно рассказывал в восьмой беседе (см. с. 130). Катушка L2, находящаяся на ферритовом стержне магнитной антенны W1, связывает антенный контур с усилением, поэтому ее называют катушкой связи.



W1
L1
C1
L2
C2
0,01мк
R1*
20к
R2
5,1к
0,8...1
мА
R3
5,1к
−
4,5...9В
+
C4
0,01мк
VT1
R4
1к
C3
0,01мк
а)
W1
L1
C1
L2
C2
0,01мк
1...1,5мА
−
4,5...9В
+
L3
R1*
180к
C3
0,01мк
VT1
б)

Рис. 216. Однокаскадные усилители радиочастоты с магнитной антенной на входе

Нагрузкой коллекторной цепи служит резистор R3. Колебания радиочастоты, создающиеся на нем, через конденсатор С4 подаются ко второму радиочастотному каскаду или детектору.

Стабилизация режима работы транзистора осуществляется с помощью делителя напряжения R1, R2 в базовой цепи транзистора и эмиттерного резистора R4 — точно так же, как в каскадах усиления ЗЧ с такой же системой термостабилизации рабочей точки транзистора.

Конденсатор С2, включенный между катушкой связи L2 и базой транзистора — разделительный. Его задача — свободно пропускать в базовую цепь транзистора колебания радиочастоты и в то же время не пропускать постоянный ток. Без такого конденсатора база транзистора будет замкнута на общий провод через катушку связи L2 и транзистор окажется закрытым. Этот конденсатор может быть также включен между катушкой и общим заземленным проводником. Конденсаторы С2 — С4 не должны оказывать заметного сопротивления колебаниям наиболее низких частот диапазона волн, усиливаемых каскадом. Этому требованию отвечают слюдяные и керамические конденсаторы емкостью 5...10 тыс. пФ.

Конденсатор С1 контура магнитной антенны может быть с воздушным или с твердым диэлектриком. Его наибольшая емкость определяет диапазон волн, перекрываемый контуром магнитной антенны.

На рис. 216, *б* приведена схема упрощенного каскада усиления колебаний радиочастоты с магнитной антенной на входе. Нагрузкой транзистора служит высокочастотный дроссель L3. Снимаемый с него усиленный сигнал подается через конденсатор С3 на вход следующего каскада усиления радиочастоты или детекторного каскада. Напряжение смещения на базу транзистора подается с его коллектора через резистор R1.

ПОРТАТИВНЫЙ ПРИЕМНИК

Сравнительно малые габаритные размеры, внутренняя магнитная антенна и автономное питание — самые, пожалуй, привлекательные стороны транзисторных приемников или приемников на микросхемах. И ты, конечно, захочешь сделать приемник, который можно было бы взять с собой в туристский поход, на прогулку в лес, на рыбалку, пользоваться им дома. Но конструирование малогабаритных приемников требует усидчивости, аккуратности, а подчас и ювелирности работы. Да, именно ювелирности. Ведь дело приходится иметь с миниатюрными деталями, пользуясь пинцетом, а иногда еще и лупой. Даже жало паяльника приходится затачивать, как карандаш, чтобы удобнее добираться к местам пайки, не повредив другие спайки или детали. Некоторые детали, часто тоже малогабаритные, приходится делать самому, не рассчитывая на готовые.

Каким должен быть твой первый портативный приемник? Во-первых, надежным в работе и не «капризничать» в походе, на привале — всюду, где он будет твоим постоянным спутником. Во-вторых, он должен обеспечивать уверенный прием на магнитную антенну двух-трех радиостанций и достаточно громко, чтобы не только ты, но и твои товарищи на марше, на привале или, устроившись поудобнее у костра, могли послушать сообщения о событиях дня, музыку, репортаж со стадиона, проверить часы — словом, чувствовать себя как дома.

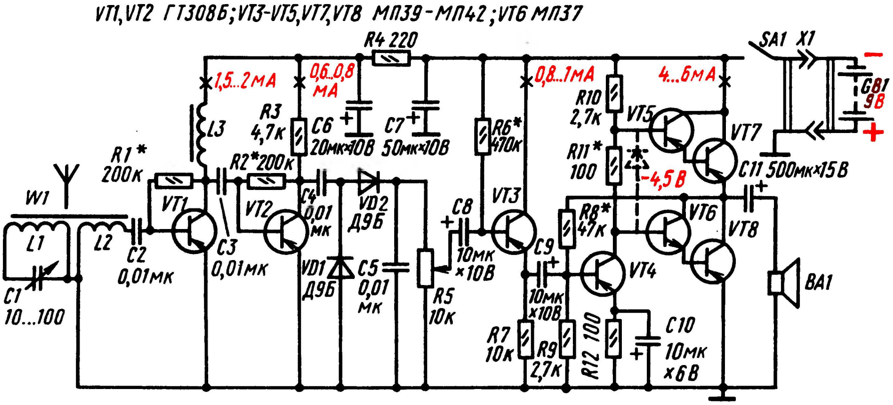


Рис. 217. Принципиальная схема портативного приемника

Этим требованиям вполне может отвечать приемник, принципиальная схема которого показана на рис. 217. Это однодиапазонный приемник 2-V-3, т. е. приемник, содержащий два каскада усиления колебаний радиочастоты, детекторный каскад и три каскада усиления колебаний звуковой частоты. Выбор диапазона волн, перекрываемого приемником, зависит от местных условий радиоприема. Источником питания приемника могут быть батарея «Крона», аккумуляторная батарея 7Д-0,1 или две батареи 3336, соединенные последовательно.

Разберемся в схеме, деталях и работе приемника в целом. Многое в нем тебе уже знакомо, а кое-что новое. Начнем, как принято, со входа.

Входной контур приемника, настраиваемый на несущие частоты радиостанций, образует катушка L1 магнитной антенны W1 и конденсатор переменной емкости C1. Через катушку связи L2 и разделительный конденсатор C2 сигнал радиостанции, на которую настроен контур магнитной антенны, подается на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя РЧ. Его нагрузкой служит высокочастотный дроссель L3. С него усиленный сигнал через конденсатор C3 поступает на базу транзистора VT2 второго каскада, а с его нагрузочного резистора R3 — через конденсатор C4 к детекторному каскаду.

Транзисторы обоих каскадов радиочастотного тракта приемника включены по схеме ОЭ. Режим их работы по постоянному току устанавливают резисторами смещения R1 и R2, включенными между базами и коллекторами. Различие же между каскадами заключается лишь в том, что нагрузкой транзистора первого каскада служит высокочастотный дроссель, а нагрузкой транзистора второго каскада — резистор. Но эти нагрузки можно не только поменять местами, но и использовать для этой цели высокочастотные трансформаторы, внести некоторые другие изменения в усилитель, о чем я скажу позже.

Новым для тебя является детекторный каскад. Почти во всех предыдущих приемниках роль детектора выполнял один точечный диод, а в этом приемнике их два — VD1 и VD2. При таком включении диодов детектора на его нагрузочном резисторе создается почти вдвое большее напряжение звуковой частоты, чем на нагрузке однодиодного. В связи с этим такие детекторы называют детекторами с удвоением напряжения. Иногда их называют детекторами с закрытым входом по постоянному току, так как конденсатор C4 свободно пропускает к детектору только переменную и совсем не пропускает постоянную составляющую коллекторной цепи транзистора VT2. Если конденсатор C4 окажется с утечкой, то через него и диод VD2, включенный по отношению к полярности батареи в прямом направлении, будет течь значительный постоянный ток и диоды плохо или совсем не будут детектировать радиочастотный сигнал.

В этом приемнике нагрузкой детектора служит переменный резистор R5. Он одновременно выполняет и роль регулятора громкости: чем выше (по схеме) находится его движок, тем большее напряжение звуковой частоты подается на вход низкочастотного тракта, тем громче радиоприем.

Для лучшего согласования сопротивления детектора с входным сопротивлением усилителя ЗЧ транзистор VT3 первого каскада усилителя включен по схеме ОК. Колебания звуковой частоты, создающиеся на его нагрузочном резисторе R7, через конденсатор C9 поступают к транзистору VT4 второго каскада и усиливаются им.

Транзисторы VT5, VT7 и VT6, VT8, включенные по схеме составного транзистора, образуют два плеча двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности. По принципу работы он аналогичен выходному каскаду усилителя электрофона, о котором рассказывалось в предыдущей беседе, но он менее мощный. Усиленные им колебания звуковой частоты поступают через конденсатор C11 к динамической головке BA1 и преобразуются ею в звуковые колебания.

Резистор R11, благодаря которому на базах составных транзисторов (относительно эмиттеров) создаются начальные напряжения смещения, устраняет искажения типа «ступенька». Резистор R4 и конденсатор C6 образуют развязывающий фильтр (знакомый тебе по усилителю электрофона), предотвращающий паразитные связи между усилителями приемника через общий источник питания.

О функции оксидного конденсатора C7, шунтирующего источник питания по переменному току, ты тоже знаешь. Его роль особенно заметна к концу разрядки батареи, когда внутреннее сопротивление батареи переменной составляющей тока звуковой частоты увеличивается. Возможная конструкция этого приемника, а также его монтажная плата со схемой размещения и соединения деталей на ней показаны на рис. 218. В приемнике использованы: транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}$ не менее 50, динамическая головка BA1 — 0,5ГД-21, оксидные конденсаторы — К50-6, батарея питания — «Крона». Учти: пары транзисторов VT5 и VT7, VT6 и VT8 должны иметь возможно близкие параметры по $h_{21Э}$ и $I_{КБО}$ или произведения коэффициентов $h_{21Э}$ транзисторов VT5 и VT7 и транзисторов VT6 и VT8 должны быть равны. Это — обязательное условие для неискаженной работы усилителя мощности.

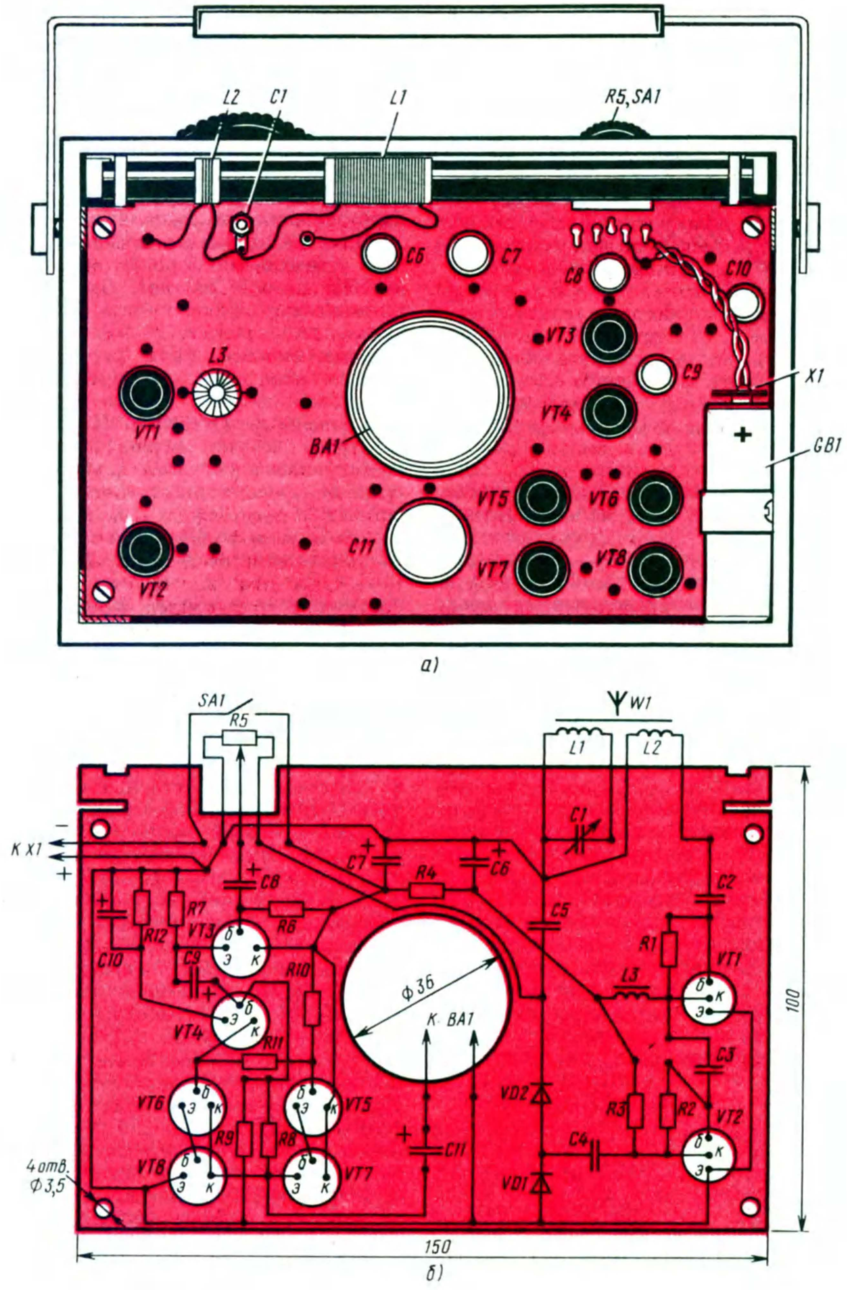

L2
C1
L1
R5,SA1
C6
C7
C8
C10
VT3
C9
X1
L3
VT1
BA1
VT4
GB1
VT5
VT6
C11
VT7
VT8
VT2
а)
SA1
R5
W1
L1
L2
C1
K X1
C7
R4
C6
C8
R7
R12
VT3
R6
C10
C9
R10
C5
C2
R1
VT1
L3
Ф 36
VT4
R11
K BA1
C3
VT6
VT5
VD2
R3
R2
VT2
R9
R8
C11
C4
4 отв.
Ф 3,5
VT8
VT7
VD1
100
150
б)

Рис. 218. Конструкция (*а*) и схема размещения и соединений деталей на монтажной плате (*б*)

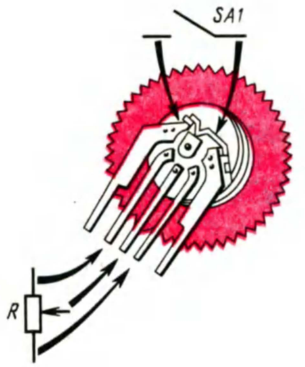


Рис. 219. Малогабаритный переменный резистор типа СП3-3 с выключателем питания

Роль регулятора громкости (R5) и выключателя питания (SA1) выполняет малогабаритный переменный резистор СП3-3 (рис. 219). Его зубчатый диск диаметром 20 мм, насаженный на ось резистора, является ручкой регулятора громкости. Две крайние пластинки — выводы контактов выключателя, а три средние — выводы переменного резистора. Выводы выключателя используют и для крепления этой детали на монтажной плате.

Функцию конденсатора С1 настройки контура магнитной антенны выполняет подстроечный конденсатор КПК-2, начальная емкость которого может быть 10...25 и максимальная 100...150 пФ. Предпочтение следует отдать конденсатору с начальной емкостью 10 и максимальной 100 пФ, так как контур с ним перекрывает несколько больший диапазон волн, чем с конденсатором емкостью 25/150 пФ. А для удобства пользования конденсатором КПК-2 как органом настройки на его подвижный диск — ротор надо насадить и приклеить к нему кольцо с зубчиками по наружной окружности (рис. 220). Кольцо можно выпилить лобзиком из пластинки органического стекла или текстолита толщиной 2,5...3 мм, а зубчики на нем нарезать слесарной ножовкой или напильником. Приклеить кольцо к ротору конденсатора можно клеем «Момент» или БФ-2. Конденсатор крепи к монтажной плате винтом с гайкой или приклеивай к ней с таким расчетом, чтобы зубчатая часть кольца немного, примерно на 4...5 мм, выступала наружу из боковой стенки футляра приемника (на рис. 220 справа наружная поверхность стенки футляра показана штриховой линией).

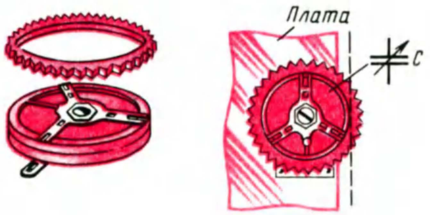


Рис. 220. Конденсатор КПК-2 в роли конденсатора настройки и крепление его на плате

Для магнитной антенны использован круглый стержень из феррита марки 600НН (или 400НН) длиной 140 мм. Однако, прежде чем наматывать контурную катушку магнитной антенны, надо решить, на какой диапазон радиоволн должен быть рассчитан приемник. Дело в том, что для приема радиостанций длинноволнового и средневолнового диапазонов нужны две катушки. Потребуется, следовательно, переключатель, который усложнит конструкцию приемника и управление им. Но простой транзисторный приемник прямого усиления все равно будет принимать в основном лишь местные радиостанции и наиболее мощные, находящиеся в радиусе до 200...300 км. Вот и получается, что нет смысла идти на усложнение приемника. Пусть он принимает две-три радиостанции, но уверенно и громко. Радиолюбители так именно и поступают — рассчитывают контур магнитной антенны приемника только на радиостанции, передачи которых хорошо слышны в тех районах, где они живут. Так, полагаю, надо поступить и тебе.

Во время экспериментов с детекторным и простым транзисторным приемником ты узнал, сигналы каких радиостанций хорошо слышны в вашей местности. Вот с расчетом на прием этих станций и надо наматывать контурную катушку магнитной антенны.

Контурная катушка, рассчитанная на прием радиовещательных станций средневолнового диапазона, должна содержать 70...80 витков, на длинноволновый диапазон — 250...280 витков. Если же катушка будет иметь 160...180 витков, то входной контур приемника станет перекрывать диапазон волн примерно от 450 до 900 м, т. е. охватывать конец средневолнового и начало длинноволнового диапазонов. Для средневолновой катушки используй провод ПЭВ-1 или ПЭЛШО 0,2...0,25, а для длинноволновой или катушки промежуточного диапазона — провода тех же марок, но диаметром 0,15...0,2 мм. Провод средневолновой катушки укладывай в один слой, виток к витку. Длинноволновую катушку для уменьшения ее внутренней емкости лучше намотать четырьмя-пятью секциями, укладывая в каждой секции равное число витков.

Катушку связи наматывай тем же проводом, что и контурную. Катушка связи средневолнового диапазона должна содержать 5...6 витков, длинноволнового диапазона — 10...15 витков. Окончательное число витков катушки связи будешь подбирать во время налаживания приемника.

Учти: бумажные гильзы, на которые ты будешь наматывать катушки, должны с небольшим трением перемещаться по каркасу. Перемещением контурной катушки ты будешь в некоторых пределах изменять границы диапазона, перекрываемого приемником, а перемещением катушки связи — устанавливать наивыгоднейшую связь контура магнитной антенны со входом усилителя РЧ приемника.

Ферритовый стержень магнитной антенны может быть плоским. При этом изменится только форма каркасов катушек, а числа витков в них будут такими же.

Магнитопроводом высокочастотного дросселя L3 служит кольцо диаметром 7...10 мм из феррита 600НН. Для приема радиостанций средневолнового диапазона дроссель L3 должен иметь 75...85 витков, а для радиостанций длинноволнового — около 200 витков. Для намотки дросселя используй проволочный челнок (см. рис. 144).

Все детали приемника, кроме динамической головки и батареи питания, смонтированы на плате из листового гетинакса (можно из текстолита, стеклотекстолита или другого изоляционного материала) размерами 150 × 100 мм. Отверстие диаметром 36 мм в середине платы сделано под магнитную систему головки. Ферритовый стержень антенны прикреплен к плате резиновыми кольцами.

Динамическая головка диффузородержателем укреплена на передней стенке корпуса, а батарея «Крона» — на боковой. Монтажная плата четырьмя шурупами удерживается на брусках, прикрепленных к стенкам корпуса. Сам же корпус склеен из фанеры толщиной 4...5 мм. В его передней стенке, против диффузора головки, сделан вырез, который затянут нетолстой тканью, защищающей головку от попадания на нее пыли, влаги. Спереди вырез прикрывает декоративная решетчатая накладка. К боковым стенкам на винтах прикреплена ручка (можно ремешок) для удобства переноски приемника.

Заднюю стенку корпуса (на рис. 218, *а* не показана) можно крепить к боковым стенкам шурупами. Лучше, однако, если она будет откидной, на небольших петлях, и удерживаться защелками, что позволит быстро заменять разрядившуюся батарею.

Такой или примерно такой может быть конструкция и твоего приемника. Здесь много зависит от имеющихся деталей, материалов и, конечно, от твоей творческой смекалки.

Приступая к налаживанию приемника, тщательно проверь его монтаж по принципиальной схеме. Особое внимание обрати на правильность включения выводов транзисторов, полярность оксидных конденсаторов, диодов детектора. Затем к разомкнутым контактам выключателя питания подключи милллиамперметр. При этом прибор, замкнувший собой цепь питания, должен показывать ток покоя, не превышающий 12...15 мА. Значительно больший ток будет признаком ошибки в монтаже, использования в приемнике неисправной детали или резисторов не тех номиналов.

Налаживание усилителя ЗЧ приемника сводится в основном к установке режимов работы транзисторов его выходного каскада. Сначала подбором резистора R8, заменяя его или подключая параллельно ему резисторы других номиналов, установи в точке симметрии напряжение, равное 4,5 В, т. е. половине напряжения батареи (или сетевого блока питания). Предварительно измерь напряжение, действующее между отрицательным и общим «заземленным» проводником цепей питания. Оно не должно быть меньше 8,5 В. Затем подбором резистора R11 установи ток покоя транзисторов выходного каскада в пределах 4...6 мА.

Еще раз должен тебя предупредить: во время замены резистора R11 усилитель должен быть обесточен, иначе составные транзисторы выходного каскада могут выйти из строя из-за недопустимо больших токов, текущих через них.

Работоспособность тракта ЗЧ приемника в целом проверяй так, как было рассказано в предыдущей беседе при испытании усилителей ЗЧ.

После этого переходи к настройке радиочастотной части приемника. Сначала, включая миллиамперметр в коллекторные цепи транзисторов, подбором резисторов R2 и R1 установи в этих цепях токи в тех пределах, которые указаны на схеме. Далее, поворачивая приемник в горизонтальной плоскости, настрой его на какую-либо радиостанцию и дополнительным подбором резисторов R2 и R1 добейся наиболее громкого приема этой станции. Наибольшая громкость будет тогда, когда продольная ось сердечника катушки магнитной антенны окажется перпендикулярной прямой, направленной на принимаемую станцию. Это потому, что магнитная антенна обладает направленностью действия. Диапазон волн, перекрываемый приемником, можно несколько сдвинуть в сторону более коротких или более длинных волн, перемещая контурную катушку по ферритовому стержню.

Затем найди такое положение катушки связи L2 на стержне относительно контурной катушки, чтобы уровень сигнала был максимальным и без искажений. Если при наибольшем отдалении катушки связи от контурной катушки приемник работает с искажениями, значит, надо убавить число ее витков. Каркасы обеих катушек закрепи на ферритовом стержне каплями клея.

Может случиться, что при наибольшем усилении приемник станет самовозбуждаться на высокой частоте — появится свист. В этом случае поменяй местами включение выводов высокочастотного дросселя. А если это не поможет, то зашунтируй его резистором сопротивлением 1...10 кОм.

Какие изменения или дополнения можно внести в приемник?

Прежде всего — о транзисторах. В усилителе РЧ вместо транзисторов ГТ308Б, указанных на принципиальной схеме, можно использовать любые другие маломощные высокочастотные транзисторы структуры p-n-p, например: ГТ310, КТ361, П404 — П403, П416, П422 с любым буквенным индексом, а вместо резистора МП37 в предоконечном каскаде — аналогичные ему транзисторы МП35, МП36 также с любым буквенным индексом.

Транзисторы VT7 и VT8 выходного каскада могут быть средней мощности, например: ГТ402, ГТ403, П601 или П605. В этом случае выходная мощность приемника увеличится примерно до 0,6...0,8 Вт. Соответственно можно будет увеличить и мощность используемой для приемника динамической головки. Но при такой замене транзисторов средний ток, потребляемый выходным каскадом, увеличится до 150...200 мА. Питать приемник с таким выходным каскадом придется от батареи, составленной из шести элементов 343 и 373. Батарея «Крона» или 7Д-0,1 не может обеспечить продолжительную работу такого приемника.

Параллельно резистору R11, т. е. между базами транзисторов VT5 и VT6, можно включить в прямом направлении точечный или плоскостный германиевый диод, что повысит термостабильность работы выходного каскада. На принципиальной схеме приемника (рис. 217) он показан штриховыми линиями. Сущность действия этой детали заключается в следующем. С повышением температуры прямое падение напряжения на диоде уменьшается, а с понижением, наоборот, увеличивается. При этом автоматически изменяется напряжение смещения на базах транзисторов, что и используется для термостабилизации усилителя.

Нагрузкой транзистора первого каскада приемника может быть высокочастотный трансформатор, а нагрузкой транзистора второго каскада — дроссель. В этом случае схема усилителя РЧ примет вид, показанный на рис. 221. Трансформатор, как и дроссель, намотай с помощью проволочного челнока на кольце из феррита марки 600НН с наружным диаметром 7...10 мм. Для лучшего согласования сравнительно большого выходного сопротивления усилительного каскада с относительно небольшим входным следующего за ним каскада высокочастотный трансформатор делают понижающим: обмотка L3 должна содержать 180...200 витков, а L4, являющаяся катушкой связи, 70...80 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛШО 0,1...0,15.

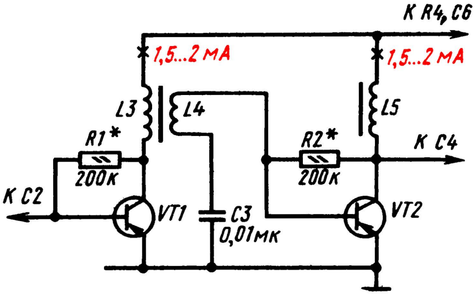


Рис. 221. Схема варианта усилителя РЧ

Что даст такое построение усилителя РЧ? Несколько повысится чувствительность приемника. Но, к сожалению, вместе с тем приемник станет более склонным к самовозбуждению из-за усиливающейся положительной обратной связи между коллекторными цепями транзисторов и входной цепью через магнитные поля, действующие между ними. Придется опытным путем поискать положение трансформатора и дросселя относительно стержня магнитной антенны, при котором паразитная генерация устраняется, а может быть, даже экранировать их — обернуть фольгой и заземлить фольгу.

Усилитель РЧ меньше всего будет склонен к самовозбуждению, если нагрузками транзисторов обоих каскадов будут резисторы. Но при этом будет несколько снижена чувствительность приемника. Компенсировать эту потерю можно более тщательной подгонкой режимов работы транзисторов, усилением связи контура магнитной антенны со входом усилителя.

Другой путь повышения чувствительности — подача смещения на базы транзисторов усилителя РЧ с делителей напряжения и включение в их цепи эмиттеров термостабилизирующих резисторов и шунтирующих их конденсаторов (по схеме на рис. 216, *а*). Площадь монтажной платы, отведенной для усилителя РЧ, позволяет разместить на ней эти дополнительные детали. Кроме того, можно предусмотреть гнездо для подключения к контуру магнитной антенны внешней электрической антенны, которая увеличит дальность действия приемника.

Что же касается корпуса приемника, то он не обязательно должен быть самодельным. В магазине культтоваров можно приобрести подходящий готовый корпус портативного транзисторного приемника. Готовый корпус подскажет размеры монтажной платы и компоновку в нем деталей.

Вот с учетом подобранных деталей и возможных изменений и дополнений, проверенных на макетной панели, и конструируй приемник. Народная мудрость гласит: семь раз отмерь, а один раз отрежь. К портативному приемнику, особенно если ты будешь стремиться уменьшать его размеры, она, как нельзя лучше, подходит. Вот почему хочется дать тебе еще один совет: учитывая имеющиеся детали, составь несколько вариантов схемы монтажа, не торопясь, выбери лучшую из них и только тогда приступай к заготовке и разметке платы и монтажу приемника.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ БЛОК РАДИОЛЫ

Теперь, когда ты имеешь представление о принципе построения и работе радиочастотного тракта приемника прямого усиления, ты сможешь добавить подобный блок в электрофон и таким образом превратить его в переносную радиолу.

Такой блок можно смонтировать по схеме, показанной на рис. 222. Чтобы облегчить объединение схемы этого блока со схемой усилителя электрофона (см. рис. 202), на ней принята сквозная нумерация деталей и, кроме того, показан переменный резистор R7, являющийся входным элементом основного усилителя электрофона. Во время радиоприема согласующий каскад усилителя в работе радиолы не участвует. Переключение радиолы с воспроизведения грамзаписи на прием радиостанций и обратно осуществляется двухсекционным переключателем SA2. Положение переключателя на контактах 1, показанное на схеме, соответствует включению радиолы на воспроизведение грамзаписи.

Высокочастотный блок радиолы образуют входная антенная цепь, двухкаскадный усилитель РЧ на транзисторах VT9 и VT10 и детектор на диодах VD7 и VD6, включенных, как и в портативном приемнике, по схеме удвоения выходного напряжения. Основное отличие усилителя РЧ от уже знакомых тебе двухкаскадных усилителей заключается лишь в том, что роль нагрузок обоих его транзисторов выполняют резисторы и режимы работы транзисторов жестко стабилизированы.

Для упрощения входная цепь блока рассчитана на прием двух станций средневолнового (можно длинноволнового) диапазона. Для приема станции, работающей в длинноволновом участке этого диапазона, параллельно катушке L1 секцией SA2.1 переключателя SA2 надо подключить конденсатор C18, а для приема станции коротковолнового участка этого же диапазона — соединенные параллельно подстроечный конденсатор C17 и конденсатор постоянной емкости C16. Емкость конденсаторов C16 и C18, обозначенных на схеме звездочками, зависит от длины волн станций, на которые будешь настраивать входной контур.

Внешнюю антенну W1, представляющую собой отрезок изолированного провода длиной 1...1,5 м, подключают к гнезду X1. Конденсатор C15 ослабляет влияние собственной емкости антенны на настройку контура приемника.

Через катушку связи L2 и конденсатор C19 модулированный сигнал радиостанции, на

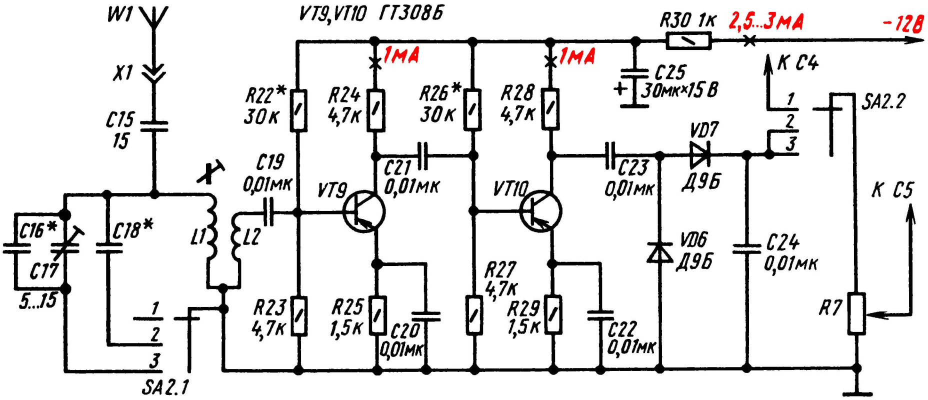


Рис. 222. Схема радиочастотного блока радиолы

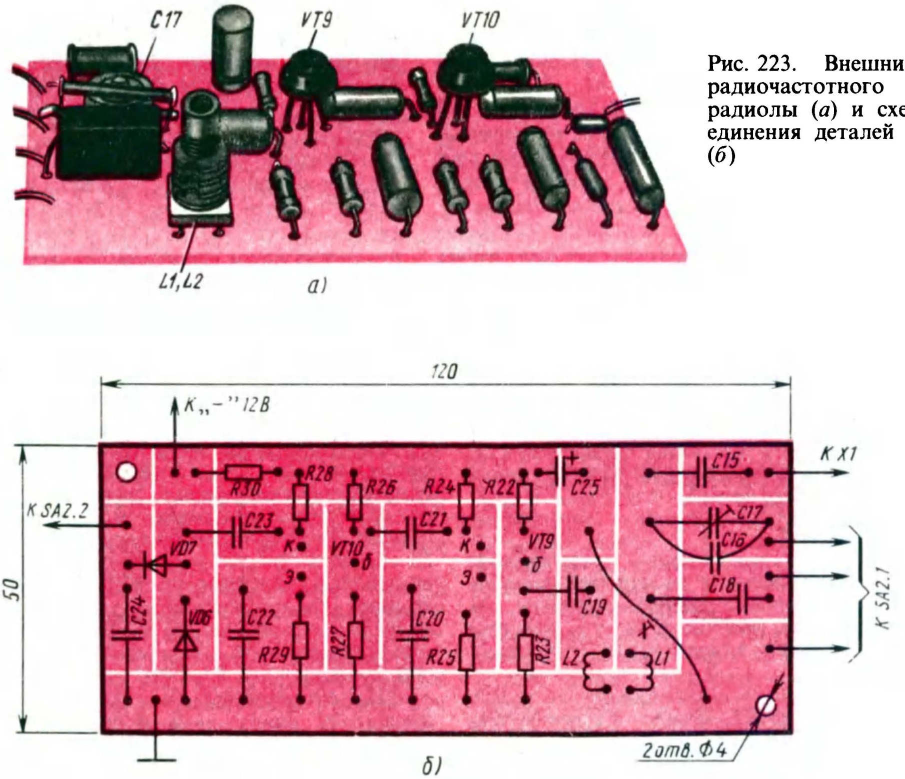


Рис. 223. Внешний вид радиочастотного блока радиолы (*а*) и схема соединения деталей на ней (*б*)

частоту которой настроен контур входной цепи, поступает на вход усилителя, усиливается обоими его каскадами и далее детектируется. Роль нагрузки детектора выполняет переменный резистор R7, являющийся и регулятором громкости. При этом замыкающий контакт секции SA2.2 переключателя вида работы должен находиться на одном из двух нижних (по схеме) неподвижных контактах. Сигнал звуковой частоты усиливается так же, как при воспроизведении грамзаписи.

Внешний вид этого блока и схема соединений деталей на его плате показаны на рис. 223. Катушки L1 и L2 намотаны на унифицированном четырехсекционном каркасе с ферритовым подстроечным сердечником (можно на аналогичном самодельном каркасе). Катушка L1, рассчитанная на прием радиостанций средневолнового диапазона, содержит 160 витков (четыре секции по 40 витков) провода ПЭВ-1 0,12, а L2, намотанная поверх катушки L1, 8 витков такого же провода (для радиостанций длинноволнового диапазона — соответственно 250...280 и 15...20 витков такого же провода).

Переключатель SA2 — несколько упрощенный движковый переключатель от приемника «Сокол». В нем оставлены только восемь контактов и две замыкающие пластины, расположенные с одной стороны от движка. Оставленные замыкающие пластинки размещены по схеме, показанной на рис. 224, *а*. Положение 1 контактов такого переключателя соответствует включению радиолы на воспроизведение грамзаписи, положение 2 — приему программ одной радиовещательной станции, положение 3 — приему второй станции.

Размещение переключателя и антенного гнезда X1 на корпусе электропроигрывателя показано на рис. 224, *б*. Ограничителем перемещения движка переключателя служит отверстие в панели, на которой он укреплен с помощью гетинаксовой пластинки (размерами 100 × 12 мм) с отверстиями под выводы контактов, двух стоек и винтов.

Налаживание блока сводится к подгонке режимов работы его транзисторов и настройке входного колебательного контура на выбранные радиостанции. Режим транзистора VT10 устанавливай подбором резистора R26, транзистора VT9 — подбором резистора R22. После этого подключи антенну и, пользуясь для контроля другим радиовещательным приемником, приступай к настройке входного контура. Сначала настрой его на станцию низкочастотного участка диапазона: грубо — подбором конденсатора C18 (220...470 пФ), точно — подстроечным сердечником катушки L1. Затем подбором конденсатора C16 (33...150 пФ) и изменением емкости подстроечного конденсатора C17 настрой контур на радиостанцию высокочастотного участка диапазона. Но теперь подстроечный сердечник катушки уже не трогай, иначе собьешь настройку на первую станцию. Для уменьшения уровня шумов конденсатор C19 может быть оксидным емкостью 1...10 мкФ (положительную обкладку подключить к катушке L2).

На этом налаживание радиочастотного блока радиолы можно считать законченным. Остается вмонтировать его в корпус электропроигрывателя возможно ближе ко входу усилителя ЗЧ и переключателю вида работы SA2.

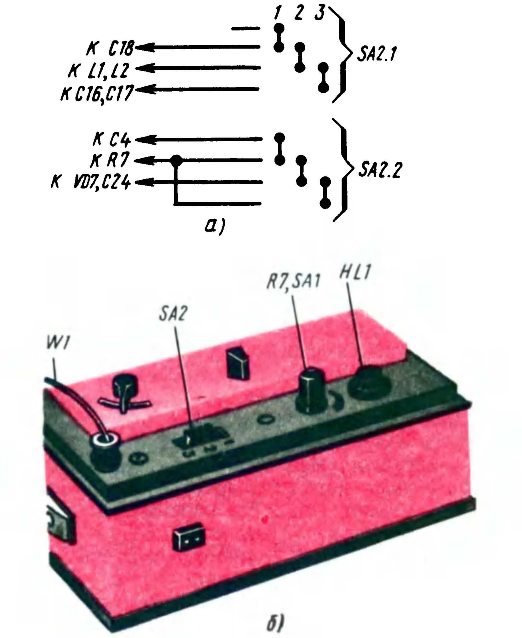

1 2 3
К С18
К L1, L2
К С16, С17
SA2.1
К С4
К R7
К VD7, C24
SA2.2
а)
R7, SA1
HL1
SA2
W1
б)

Рис. 224. Схема переключателя (*а*) и размещение его и антенного зажима на панели ЭПУ (*б*) радиолы

ПРИЕМНИК «МАЛЬЧИШ»

Именем гайдаровского героя назван пятитранзисторный малогабаритный рефлексный приемник, который можно собрать из набора деталей и узлов, выпускаемого московским опытно-экспериментальным школьным заводом «Чайка». Приемник обеспечивает достаточно громкий прием местных и некоторых наиболее мощных отдаленных радиовещательных станций.

Принципиальная схема приемника изображена на рис. 225. Его входной настраиваемый

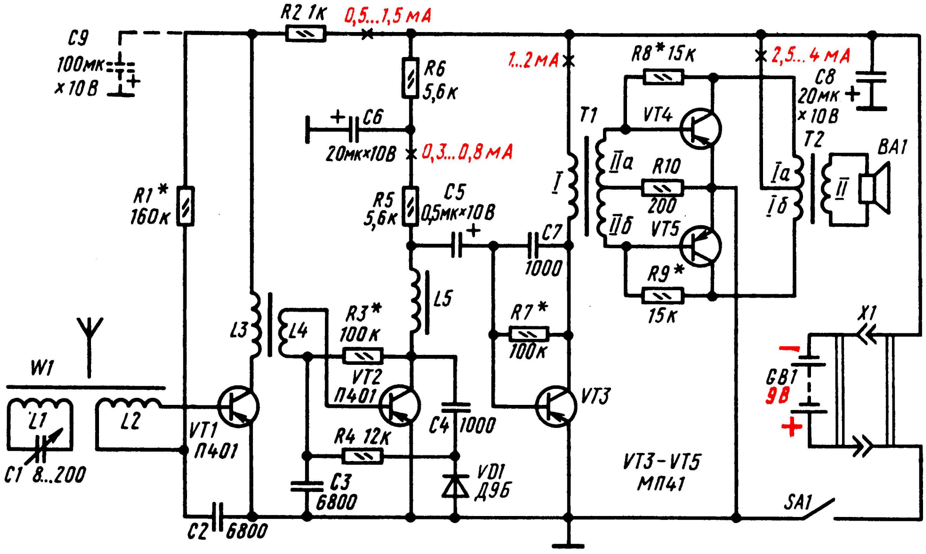

R2 1к
0,5...1,5 мА
C9 100мк×10В
R6 5,6к
1..2 мА
R8* 15к
2,5...4 мА
C8 20мк×10В
C6 20мк×10В
0,3...0,8 мА
T1
VT4
T2
BA1
IIа
R10 200
I
Iа
Iб
II
R1* 160к
R5 5,6к
C5 0,5мк×10В
IIб
VT5
C7 1000
R9* 15к
L5
L3
L4
R3* 100к
R7* 100к
X1
W1
VT2 П401
GB1 9В
L1
L2
VT1 П401
C4 1000
VT3
R4 12к
C1 8...200
C3 6800
VD1 Д9Б
VT3-VT5 МП41
SA1
C2 6800

Рис. 225. Принципиальная схема приемника «Мальчиш»

контур образуют катушка L1 магнитной антенны W1 и конденсатор переменной емкости C1. Через катушку связи L2 сигнал радиостанции подается на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя РЧ. Коллекторной нагрузкой транзистора этого каскада служит катушка L3. Через катушку связи L4, образующую с катушкой L3 высокочастотный трансформатор, усиленный сигнал поступает на базу транзистора VT2 второго каскада приемника.

Второй каскад приемника рефлексный. В связи с этим в коллекторной цепи его транзистора две нагрузки: высокочастотная, роль которой выполняет дроссель L5, и низкочастотная — резистор R5. С дросселя L5 сигнал станции, усиленный двумя каскадами, подается через конденсатор C4 на диод VD1, а колебания звуковой частоты, создающиеся на нем,— на базу транзистора VT2 (через резистор R4 и катушку L4). Следовательно, каскад на транзисторе VT2 является вторым каскадом усиления колебаний радиочастоты и одновременно первым каскадом усиления колебаний звуковой частоты.

С резистора R5 сигнал звуковой частоты поступает (через конденсатор C5) на базу транзистора VT3 второго каскада усилителя ЗЧ, нагруженного на первичную обмотку I межкаскадного трансформатора T1, а с его вторичной обмотки II — на базы транзисторов VT4 и VT5 выходного двухтактного усилителя мощности. Усиленные колебания звуковой частоты преобразуются головкой BA1 в звук.

Коротко о назначении некоторых других элементов этого приемника. Через резистор R1 (и катушку L2) на базу транзистора VT1 подается напряжение смещения. Конденсатор C2 замыкает базовую цепь этого транзистора по высокой частоте и разрывает ее для постоянного тока. Напряжение смещения на базу транзистора VT2 снимается с делителя, образуемого резисторами R3, R4 и диодом VD1, и подается на базу через катушку L4. Диод VD1 включен в прямом направлении, поэтому он приоткрыт, что улучшает работу детектора при слабых сигналах радиостанций. Одновременно резистор R4 совместно с конденсатором C3 образуют фильтр, преграждающий путь высокочастотной составляющей продетектированного сигнала ко входу рефлексного каскада.

Резистор R7 — элемент цепи смещения транзистора VT3. Конденсатор C7 создает между коллекторной и базовой цепями этого транзистора отрицательную обратную связь по переменному току, предотвращающую возбуждение каскада на высших звуковых частотах. Резисторы R8 — R10 образуют два взаимосвязанных делителя, создающих на базах транзисторов выходного каскада напряжение смещения, устраняющее искажения типа, «ступенька». Конденсатор C9, показанный на схеме штриховыми линиями, включают в том случае, если приемник самовозбуждается.

В набор, который можно приобрести в магазине культтоваров или выписать через центральную торговую базу «Роспосылторга», входят все необходимые для сборки приемника детали, узлы и материалы, включая дополнительные резисторы для подгонки режимов транзисторов, а также динамическая головка BA1 типа 0,2ГД-1. Конденсатор переменной емкости C1 контура магнитной антенны, кронштейн для батареи «Крона» и пластинчатый выключатель питания SA1 уже вмонтированы в полистироловый корпус будущего приемника. В заготовке монтажной платы из листового гетинакса предусмотрены отверстия под магнитную систему головки, под трансформаторы, корпуса транзисторов, опорные точки монтажа и винты крепления платы в корпусе. Обладатель набора должен кроме монтажа намотать на бумажных каркасах, которые с небольшим трением можно было бы перемещать по ферритовому стержню, катушки L1 и L2, на ферритовых кольцах — высокочастотные трансформатор L3L4 и дроссель L5 и, конечно, наладить смонтированный приемник.

Внешний вид «Мальчиша» и компоновка узлов и деталей в его корпусе показаны на рис. 226, а схема соединения деталей на монтажной плате — на рис. 227. Габаритные размеры приемника таковы, что он умещается в кармане. Но подобный приемник, если он тебя заинтересует, можно смонтировать и из имеющихся у тебя деталей. Надо только постараться сохранить примерно такую же компоновку деталей, иначе приемник может возбудиться, а борьба с возбуждением в четырехкаскадном рефлексном приемнике — дело довольно сложное.

Стержень магнитной антенны из феррита 400НН или 600НН может быть круглым или плоским — безразлично. Катушка L1 средневолнового приемника должна содержать 65...70 витков, длинноволнового — 200 витков, намотанных десятью секциями по 20 витков в каждой секции, а катушка связи L2 — соответственно 3...4 и 8...10 витков провода ПЭВ-1 0,1...0,15.

Катушки L3 и L4 высокочастотного трансформатора и дроссель L5 намотай, пользуясь проволочным челноком, на кольца из феррита 600НН проводом ПЭВ-1 0,1: катушка L3 содержит 100 витков, намотанных равномерно по всему кольцу, L4 — 10 витков (можно увеличить до 40...50 витков), дроссель L5 — 200 витков. Эти детали приклей к плате клеем БФ-2.

В первых двух каскадах приемника можно использовать любые маломощные высокочастотные транзисторы структуры p-n-p (П401 — П403, П416, П422, ГТ308, ГТ310), в двух

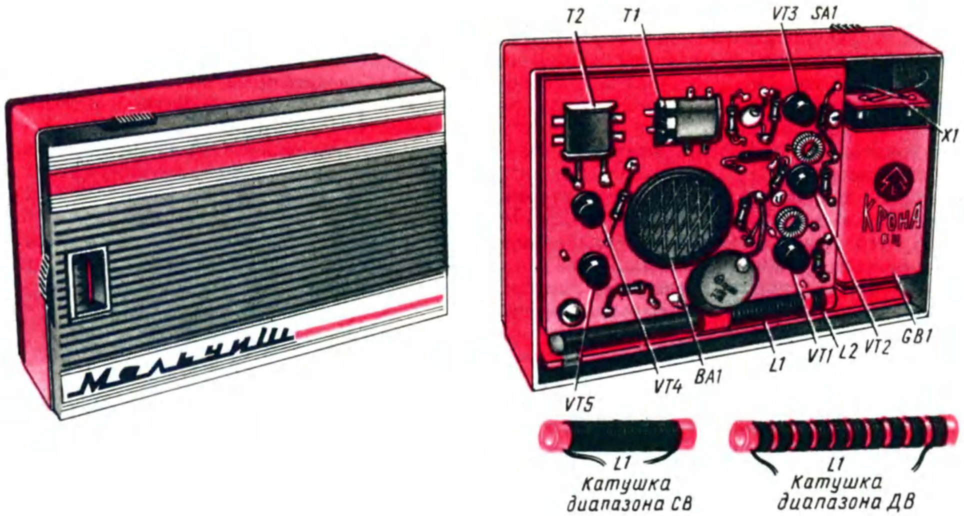

Мальчиш
T2
T1
VT3
SA1
X1
Крона
GB1
VT2
L2
VT1
L1
BA1
VT4
VT5
L1
Катушка диапазона СВ
L1
Катушка диапазона ДВ

Рис. 226. Внешний вид и конструкция «Мальчиша»

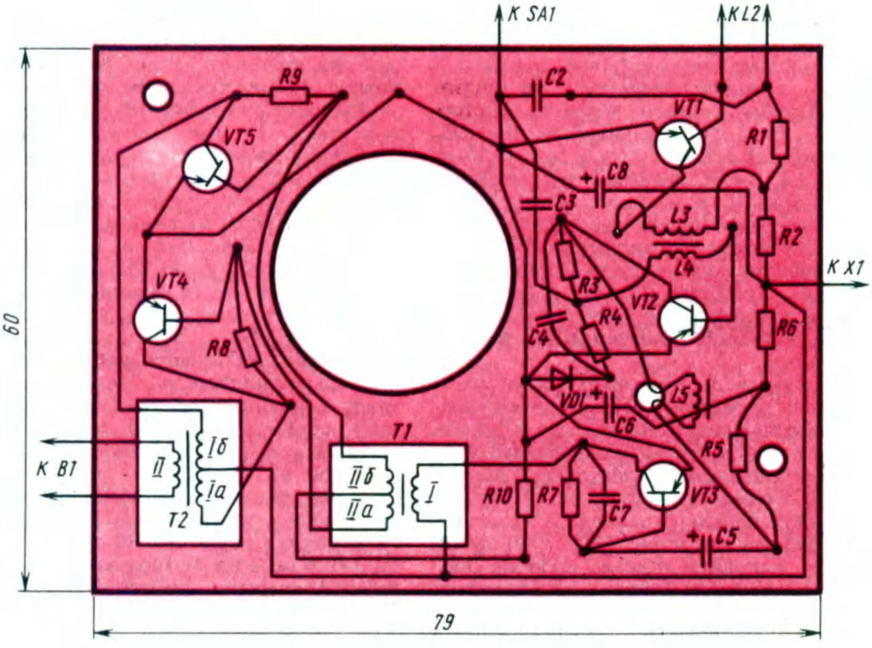

K SA1
K L2
C2
VT1
R1
R9
VT5
C8
C3
L3
R2
L4
K X1
VT4
R3
VT2
R4
C4
R8
R6
VD1
C6
L5
T1
R5
K B1
II
Iб
Ia
T2
IIб
IIa
I
R10
R7
C7
VT3
C5
60
79

Рис. 227. Монтажная плата и соединения деталей на ней

других — любые маломощные низкочастотные такой же структуры (МП39 — МП42). Высокочастотный транзистор с бо́льшим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$ используй в первом каскаде, а с меньшим — во втором. Для выходного двухтактного каскада отбери транзисторы с одинаковыми или возможно близкими значениями параметра $I_{КБО}$.

Монтаж приемника, особенно второго и третьего каскадов, очень плотный. Настолько плотный, что неловкое движение паяльником может привести к порче детали. Здесь могут появиться и случайные соединения деталей и монтажных проводников. Поэтому, закончив монтаж, внимательно осмотри его и при обнаружении мест возможных замыканий деталей немного раздвинь их.

На налаживание, возможно, придется затратить несколько часов, поэтому «Крону» на это время лучше заменить двумя последовательно соединенными батареями 3336, обладающими большей емкостью, или сетевым блоком питания. Вначале второй каскад используй только для усиления колебаний радиочастоты. Для этого отключи резистор R4 от точки соединения резистора R3, катушки L4, конденсатора C3 и подключи его к выводу анода диода VD1. Левый (по схеме) вывод конденсатора C5 отключи от резистора R5 и дросселя L5 и подключи к катоду диода VD1. Получится нерефлексный приемник 2-V-2. Замкни проволочной перемычкой выводы катушки L2 и подключи параллельно разомкнутым контактам выключателя миллиамперметр на ток 30...50 мА. Прибор должен показать ток не более 10 мА. Если ток значительно больше, значит, в монтаже есть ошибки или оксидный конденсатор C8 имеет большой ток утечки.

Затем измеряй и, если надо, устанавливай рекомендуемые режимы работы транзисторов. Суммарный ток покоя транзисторов VT4 и VT5 выходного каскада устанавливай одновременным подбором резисторов R8 и R9 одинаковых номиналов, а коллекторные токи транзисторов VT1 — VT3 — подбором резисторов R1, R3, R7 соответственно.

После проверки и подгонки токов транзисторов сними перемычку с выводов катушки L2 и, вращая ручку-диск конденсатора переменной емкости и одновременно поворачивая приемник в горизонтальной плоскости, настрой приемник на какую-нибудь станцию. При слабой слышимости подключи к входному контуру (через конденсатор емкостью 47..68 пФ) внешнюю антенну, например отрезок провода длиной 5...6 м. Если прием будет сопровождаться свистом, попробуй поменять местами выводы катушек L2, L3, дросселя L5, отодвинь каркас с катушкой L2 подальше от катушки L1. Затем восстанови рефлексный каскад, отключи внешнюю антенну и снова настрой приемник на ту же станцию. Если при этом появятся свисты, устраняй их изменением положений высокочастотных трансформатора и дросселя относительно друг друга и магнитной антенны, включением конденсатора C9.

Заключительный этап — подбор оптимальной связи между входным контуром и усилителем РЧ. Изменяя расстояние между катушками L1 и L2 и, если надо, число витков катушки L2, добейся наиболее громкого и неискаженного радиоприема во всем диапазоне перекрываемых приемником радиочастот.

НА МИКРОСХЕМАХ СЕРИИ К118

Аналоговые микросхемы серии К118, с которыми ты уже знаком, значительно упрощают процесс конструирования и налаживания приемника прямого усиления, повышают надежность его работы, уменьшают расход энергии на его питание.

Принципиальная схема одного из вариантов такого приемника показана на рис. 228. В нем работают две микросхемы К118УН1Б и два низкочастотных германиевых транзистора разной структуры. Выходная мощность приемника около 120 мВт. Средний ток, потребляемый от источника питания напряжением 9 В, не превышает 25 мА. По желанию радиоконструктора приемник может быть как средневолновым, так и длинноволновым.

Рассмотрим цепи и работу приемника в целом.

Сигнал радиостанции, на несущую частоту которой настроен контур L1C1 магнитной антенны, поступает через катушку связи L2 и разделительный конденсатор C2 на вход микросхемы DA1 (вывод 3), работающий как усилитель РЧ. С выхода этой микросхемы (соединенные вместе выводы 9 и 10) усиленный сигнал поступает на вход детекторного каскада на диодах VD1 и VD2, включенных по схеме умножения выходного напряжения. Радиочастотная составляющая продетектированного сигнала отфильтровывается фильтром, образованным резистором R2 и конденсаторами C6 и C7, а составляющая звуковой частоты выделяется на переменном резисторе R3. Этот резистор является нагрузкой детектора и одновременно регулятором громкости.

С движка резистора R3 сигнал ЗЧ поступает на вход (вывод 3) микросхемы DA2, выполняющей функцию предварительного усилителя ЗЧ низкочастотного тракта приемника. С выхода этой микросхемы (вывод 10) колебания звуковой частоты подаются на вход двухтактного бестрансформаторного усилителя мощ-

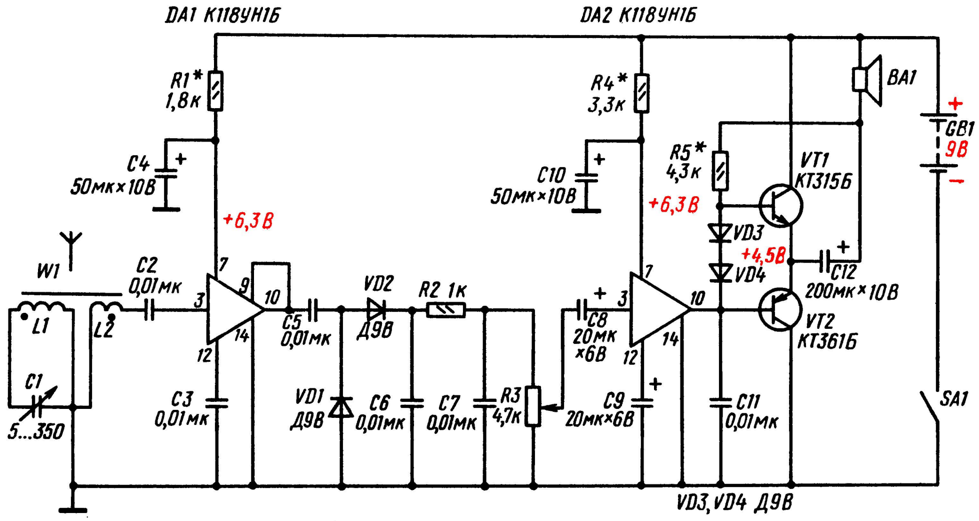


Рис. 228. Схема приемника прямого усиления на микросхемах К118УН1Б

ности на транзисторах VT1 и VT2, с работой которого ты хорошо знаком. Нагрузкой усилителя служит динамическая головка BA1, преобразующая сигнал ЗЧ в звук.

Напряжение питания на микросхему DA1 подается через фильтр R1C4, на первый каскад микросхемы DA2 — через фильтр R4C10, а на выходной транзистор этой микросхемы — через звуковую катушку динамической головки BA1, резистор R5 и диоды VD3, VD4. Резистор R5 в этой цепи — нагрузка выходного транзистора микросхемы DA2 и одновременно элемент, определяющий режим работы транзисторов усилителя мощности. Диоды VD3 и VD4 создают на базах транзисторов VT1 и VT2 начальные напряжения смещения, устраняющие искажения типа «ступенька».

Вместо микросхем К118УН1Б в приемнике можно применить аналогичные им микросхемы К118УН1А. Но, правда, при этом чувствительность приемника может несколько ухудшиться. Динамическая головка BA1 мощностью 0,1...0,25 мВт со звуковой катушкой сопротивлением 6...10 Ом, например, 0,1ГД-3М, 0,25ГД-1.

Все оксидные конденсаторы — К50-6, остальные конденсаторы постоянной емкости могут быть типов КЛС или КМ. Конденсатор переменной емкости C1 — малогабаритный с твердым диэлектриком. Переменный резистор R3, совмещенный с выключателем питания SA1, — малогабаритный СПЗ-3б. Источником питания служит батарея «Крона» или аккумуляторная 7Д-0,1.

Для магнитной антенны подойдет стержень из феррита марки 600НН диаметром 8 и длиной 80 мм. Контурная катушка L1, рассчитанная на прием радиостанций средневолнового диапазона, должна содержать 100...115 витков провода ПЭВ-1 0,15, намотанных на бумажном каркасе виток к витку. Катушка связи L2 — содержит 10 витков такого же провода, намотанных на каркасе, который можно перемещать по стержню. Для приема радиовещательных станций длинноволнового диапазона катушка L1 должна содержать 230...250 витков, намотанных внавал на каркасе четырьмя-пятью секциями, а L2 — 15 витков провода ПЭВ-1 0,1...0,12.

Детали приемника (кроме конденсатора настройки C1, магнитной антенны, динамической головки и батареи питания) можно смонтировать на плате, ориентировочные размеры которой и соединения деталей на ней показаны на рис. 229. Она рассчитана на готовый или самодельный корпус с внутренними размерами 110 × 70 × 30 мм. Динамическую головку крепи к лицевой стенке корпуса. К длинной боковой стенке приклей держатели (стойки), выпиленные из листового органического стекла толщиной 3...4 мм, в отверстиях которых будут удерживаться концы стержня магнитной антенны. На этой же стенке корпуса размести конденсатор переменной емкости. На его ось насади диск настройки диаметром 28...30 мм с зубчиками по окружности.

Налаживание приемника начинай до окончательного крепления монтажной платы внутри корпуса. Прежде всего проверь правильность

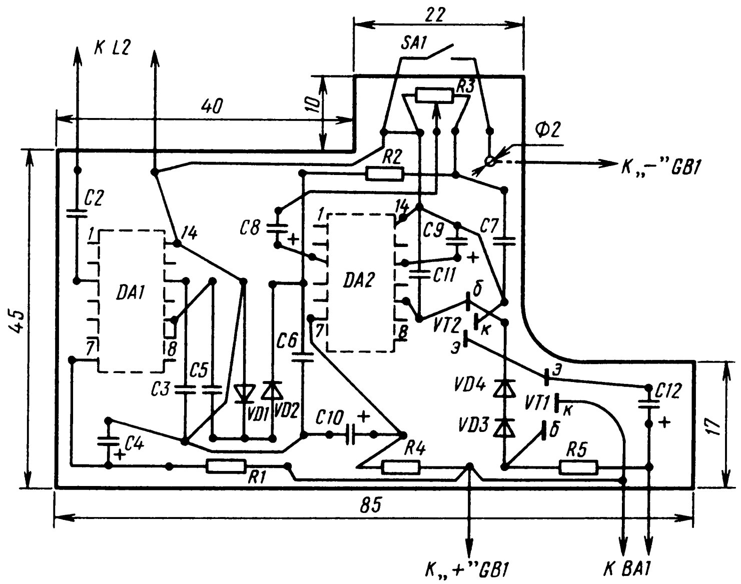


Рис. 229. Расположение и соединение деталей на монтажной плате приемника (вид со стороны установки деталей)

монтажа по принципиальной схеме. Затем включи питание и тут же измерь вольтметром напряжение на выводах 7 обеих микросхем. Напряжение должно быть близким 6,3 В. Если оно значительно отличается от этого напряжения, то устанавливай его подбором резисторов R1 и R4. Далее подбором резистора R5 установи в точке симметрии (на эмиттерах транзисторов) выходного каскада напряжение, равное половине напряжения источника питания.

После этого займись налаживанием входной части приемника. Контурную катушку L1 установи в средней части ферритового стержня, а катушку связи L2 подальше от нее. Конденсатором C2 настрой приемник на радиостанцию «Маяк», работающую на волне 547 м,— при точной настройке емкость конденсатора C1 должна быть близка к максимальной. В этом случае входной контур приемника будет перекрывать весь средневолновый диапазон. В том же случае, если сигналы этой станции будут слышны при меньшей емкости конденсатора настройки, это укажет на необходимость сдвинуть контурную катушку ближе к концу ферритового стержня или уменьшить ее число витков.

Затем настрой приемник на какую-либо отдаленную станцию и перемещением только катушки L2 по ферритовому стержню добейся наибольшей громкости приема ее сигналов. Если при этом приемник станет самовозбуждаться, то поменяй местами включения выводов катушки L2 или убавь число витков в ней. Иногда полностью устранить самовозбуждение удается включением между плюсовым и общим проводниками оксидного конденсатора емкостью 50...100 мкФ на номинальное напряжение не ниже 10 В, уменьшением напряжения на выводе 7 микросхемы DA1 до 5...5,5 В.

Аналогично налаживают входную часть приемника, рассчитанного на работу в длинноволновом диапазоне. Но в этом случае за исходную принимают радиовещательную станцию, работающую на волне 1734 м.

Можно ли в тракте ЗЧ этого приемника вместо микросхемы серии К118 с двухтактным транзисторным усилителем мощности использовать одну микросхему серии К174? Разумеется, можно! Предпочтение же следует отдать микросхеме К174УН4Б или К174УН4А. Монтируй ее по схеме выходной части усилителя, знакомого тебе по предыдущей беседе (см. рис. 201).

МИНИАТЮРНЫЙ НА ЦИФРОВОЙ МИКРОСХЕМЕ

В заключение хочу рассказать об одном, правда, несколько необычном способе использования цифровых микросхем. Дело в том, что логические элементы некоторых микросхем при охвате их глубокими отрицательными обратными связями могут работать как усилители сигналов. К числу таких относится, например, микросхема К176ЛЕ5, на базе которой

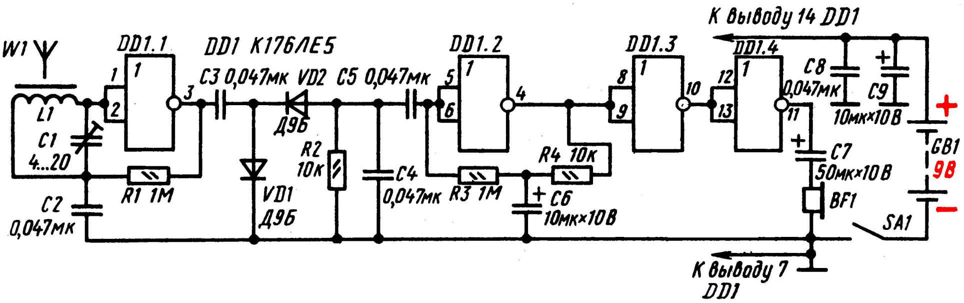


Рис. 230. Схема приемника прямого усиления на микросхеме К176ЛЕ5

можно собрать миниатюрный приемник прямого усиления.

Принципиальная схема такого приемника приведена на рис. 230. Используемая в нем микросхема К176ЛЕ5 содержит четыре самостоятельных элемента 2ИЛИ-НЕ, в которых работают полевые транзисторы. Корпус этой микросхемы такой же, как у микросхем серий К155, К118.

Приемник рассчитан на прием программ одной местной или отдаленной мощной радиовещательной станции, работающей в диапазоне СВ или ДВ. Его колебательный контур образуют катушка L1 магнитной антенны W1 и подстроечный конденсатор С1. Сигнал радиостанции, на частоту которой контур настроен, усиливается элементом DD1.1. Резистор R1 создает между выходом и входом элемента отрицательную обратную связь по постоянному напряжению, обеспечивая ему работу в режиме усиления. Конденсатор С2 устраняет отрицательную обратную связь по переменному напряжению, снижающую усиление радиочастотного каскада.

С вывода 3 элемента DD1.1 усиленный сигнал поступает через конденсатор С3 на детектор, диоды VD1 и VD2 которого включены по схеме умножения напряжения выходного сигнала. С резистора R2, являющегося нагрузкой детектора, сигнал звуковой частоты подается через конденсатор С5 на вход трехкаскадного усилителя ЗЧ на элементах DD1.2 — DD1.4 и далее телефоном BF1 преобразуется в звук.

В каскад на элементе DD1.2 введена отрицательная обратная связь по постоянному напряжению, создаваемая резисторами R4 и R3, благодаря чему на выходе этого элемента устанавливается напряжение, равное половине напряжения источника питания. Это напряжение достаточно стабильно, поэтому подобные цепочки резисторов в последующие каскады усилителя ЗЧ приемника не введены. Обратная связь по переменному напряжению устраняется конденсатором С6.

Конденсаторы С8 и С9, шунтирующие источник питания по высшим и низшим частотам, предотвращают возбуждение приемника из-за возможных паразитных связей между каскадами через общий источник питания.

Печатная плата приемника, выполненная из фольгированного материала, и соединения деталей на ней показаны на рис. 231. Все резисторы типа МЛТ. Подстроечный конденсатор С1 — КПК-М, оксидные конденсаторы С6, С7 и С9 — К50-6, остальные конденсаторы любые малогабаритные. Источником питания может быть батарея «Крона» или аккумуляторная батарея 7Д-0,1.

Для магнитной антенны потребуется отрезок ферритового стержня марки 400НН или 600НН диаметром 8 мм и такой длины, чтобы он вместе с платой и источником питания уместился в подходящем корпусе приемника. В зависимости от длины стержня контурная катушка L1, рассчитанная на прием радиостанции, работающей в наиболее длинноволновом участке диапазона ДВ, может содержать до

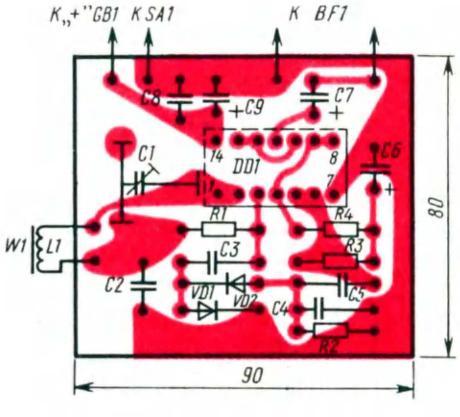


Рис. 231. Плата приемника (вид со стороны установки деталей)

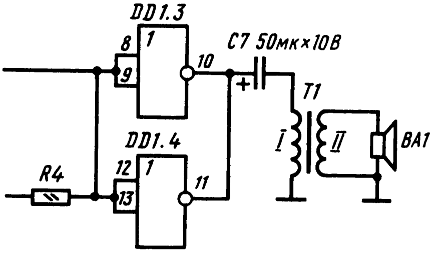


Рис. 232. Вариант выходного каскада приемника

800...900 витков провода ПЭВ-1 0,07...0,1. Для уменьшения внутренней емкости катушки наматывают ее 5—7 секциями по равному числу витков в каждой, располагая секции по всей длине ферритового стержня. Для диапазона СВ число витков контурной катушки может быть 200..300. Но учти: на частотах более 1 МГц (длина волны 300 м) чувствительность приемника сильно снижается из-за уменьшения усилительных свойств элемента DD1.1, работающего в радиочастотном каскаде.

Нагрузкой приемника может быть миниатюрный ушной телефон ТМ-4, капсюль ДЭМ-4м или один из излучателей низкоомного головного телефона ТА-56м.

Настройка приемника заключается только в подборе числа витков контурной катушки, соответствующего длине волны выбранной станции. Делай это так же, как при налаживании транзисторных приемников. Если наибольшая емкость подстроечного конденсатора С1 окажется недостаточной для точной настройки контура на частоту станции, параллельно ему можно подключить слюдяной или керамический конденсатор емкостью до 100 пФ.

Если радиовещательная станция находится неподалеку от места приема, каскады приемника могут перегружаться из-за большого уровня его сигнала, отчего звук станет искаженным. В этом случае выходной каскад приемника следует смонтировать по схеме, приведенной на рис. 232. Приемник станет громкоговорящим. Трансформатор Т1 — выходной трансформатор любого малогабаритного транзисторного приемника (используется одна половина его первичной обмотки), а динамическая головка ВА1 — любая малогабаритная мощностью 0,1...0,5 Вт со звуковой катушкой сопротивлением 6...10 Ом.

Чтобы еще больше повысить громкость работы приемника, его можно дополнить транзисторным усилителем мощности, который будет питаться от той же батареи приемника. Для простейшего однокаскадного усилителя пригоден транзистор серии КТ315 с любым буквенным индексом. В этом случае сигнал с конденсатора С7 будет поступать на базу транзистора, усиливаться им и динамической головкой, включенной через выходной трансформатор в коллекторную цепь, преобразовываться в звук. Если усилитель двухкаскадный с двухтактным выходом, в первом его каскаде можно использовать транзистор КТ315, а во втором — транзисторы КТ315 и КТ361. Со схемами, работой и налаживанием подобных усилителей колебаний звуковой частоты ты уже знаком по предыдущей беседе.

Приемник с такими дополнениями и источником питания можно разместить в корпусе, предназначенном для малогабаритного транзисторного приемника, который можно приобрести в магазине радиотоваров.

* * *

Приемник прямого усиления независимо от его сложности и используемых в нем активных элементов был и, видимо, долго еще будет оставаться одним из важнейших этапов становления радиолюбителя. Следующий за ним этап радиотехнического творчества — изучение и конструирование супергетеродина, являющегося основным типом всех современных радиовещательных приемников.

БЕСЕДА ТРИНАДЦАТАЯ

СУПЕРГЕТЕРОДИНЫ

Не скрою: изучение и конструирование супергетеродина, обладающего значительно лучшими, чем приемник прямого усиления, селективностью и чувствительностью — этап в твоем творчестве более сложный, чем любой из уже пройденных. Иногда меня спрашивают: нельзя ли начать изучение радиоприемной техники с супергетеродина, минуя простейший детекторный и приемник прямого усиления? Нет, и еще раз нет! И вот почему: без знания детекторного приемника и его элементов нельзя глубоко осмыслить работу радиочастотной части приемника прямого усиления, а без этих знаний браться за конструирование супергетеродина — значит, попусту тратить время, детали, материалы.
Но, надеюсь, с тобой этого не случится.

ПРИНЦИП РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Чем принципиально отличается супергетеродин от приемника прямого усиления? В основном — методом усиления модулированных колебаний радиочастоты. В приемнике прямого усиления принятый сигнал усиливается без какого-либо изменения его частоты. В супергетеродине же принятый сигнал преобразуется в колебания так называемой промежуточной частоты, на которой и происходит основное усиление принятого радиосигнала. Что же касается детектирования, усиления колебаний звуковой частоты и преобразования их в звуковые колебания, то эти процессы в приемниках обоих типов происходят принципиально одинаково.

Структурную схему супергетеродина ты видишь на рис. 233. Его входной настраиваемый колебательный контур такой же, как в приемнике прямого усиления. С него принятый сигнал радиостанции поступает в смеситель. Сюда же, в смеситель, подается еще сигнал от местного маломощного генератора колебаний радиочастоты, называемого гетеродином. В смесителе

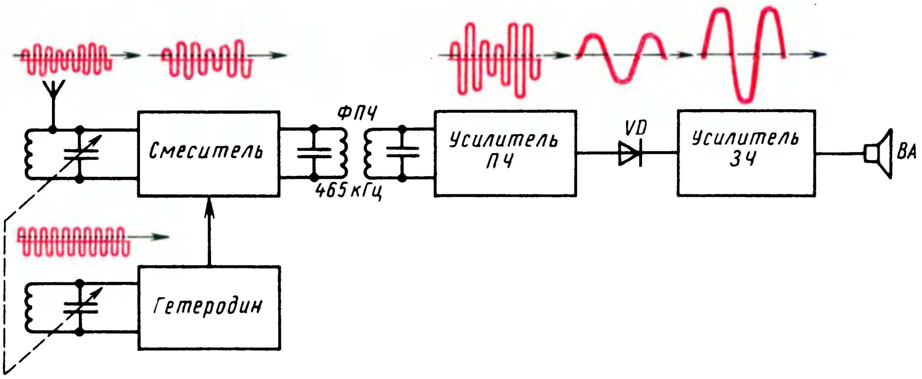


Рис. 233. Структурная схема супергетеродина

колебания гетеродина преобразуются в колебания промежуточной частоты (ПЧ), равной обычно разности частот гетеродина и принятого сигнала, которые затем усиливаются и детектируются. В большинстве случаев промежуточная частота супергетеродина равна 465 кГц. Колебания звуковой частоты, выделенные детектором, также усиливаются и далее преобразуются головкой громкоговорителя в звуковые колебания.

Смеситель вместе с гетеродином преобразуют принятый сигнал радиостанции в колебания промежуточной частоты, поэтому этот каскад супергетеродина называют преобразователем. В выходную цепь преобразователя включены колебательные контуры, настроенные на частоту 465 кГц. Они образуют фильтр промежуточной частоты (ФПЧ), выделяющий колебания промежуточной частоты и отфильтровывающий колебания частот входного сигнала, гетеродина и их комбинаций.

При любой настройке супергетеродина частота его гетеродина должна быть выше (или ниже) частоты входного сигнала на 465 кГц, т. е. на значение промежуточной частоты. Так, при настройке приемника на радиостанцию, несущая частота которой 200 кГц (длина волны 1500 м), частота гетеродина должна быть 665 кГц (665—200 = 465 кГц), для приема радиостанции, частота которой 1 МГц (длина волны 300 м), частота гетеродина должна быть 1465 кГц (1465 кГц — 1 МГц = 465 кГц) и т. д. Чтобы получить постоянную промежуточную частоту при настройке приемника на радиоволну любой длины, нужно, чтобы диапазон частот гетеродина был сдвинут по отношению к диапазону, перекрываемому входным контуром, на частоту, равную промежуточной, т. е. на 465 кГц. На этой частоте и происходит усиление принятого радиосигнала до уровня, необходимого для нормальной работы детектора.

В чем же суть преимуществ супергетеродина перед приемником прямого усиления?

В супергетеродине основное усиление принятого радиосигнала происходит на фиксированной, к тому же сравнительно низкой промежуточной частоте. Это позволяет путем увеличения числа каскадов усилителя ПЧ получить очень большое и весьма стабильное усиление принятого радиосигнала, не опасаясь возбуждения усилителя ПЧ. Селективные свойства приемника прямого усиления определяются обычно одним входным колебательным контуром. В супергетеродине же несколько колебательных контуров, постоянно настроенных на промежуточную частоту. Эти контуры, образующие фильтры ПЧ, и обеспечивают супергетеродину более высокую, чем в приемнике прямого усиления, селективность. Ко всему этому надо еще добавить, что чувствительность и селективность супергетеродина сохраняются примерно постоянными на всех диапазонах, в том числе и на коротковолновых, для которых приемники прямого усиления практически непригодны.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Разобраться в принципе работы транзисторного преобразователя частоты тебе поможет его упрощенная схема, изображенная на рис. 234. Сигнал радиостанции, на частоту которой настроен входной контур L1C1, через катушку связи L2 подается на базу транзистора VT1. Одновременно на базу транзистора через катушку связи L2 (или непосредственно на базу) подается и сигнал гетеродина, частота которого на 465 кГц выше несущей частоты радиостанции. В коллекторной цепи колебания

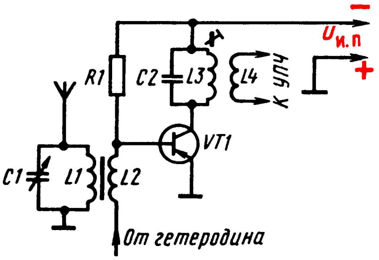


Рис. 234. Упрощенный преобразователь частоты

частот принятого сигнала и гетеродина смешиваются, в результате чего в ней возникают колебания различных частот, в том числе и промежуточной. Контур же L3C2, включенный в коллекторную цепь, настроен на промежуточную частоту, поэтому он выделяет в основном только колебания этой частоты и отфильтровывает колебания всех других частот. Выделенные контуром колебания промежуточной частоты через катушку связи L4 поступают на вход усилителя ПЧ для усиления.

Сигнал гетеродина можно подавать и в эмиттерную цепь транзистора смесительного каскада. Результат будет таким же.

В преобразователе частоты супергетеродина могут работать два транзистора: в смесителе и гетеродине. Подобные каскады называют преобразователями с отдельным гетеродином. Преобразователи же частоты подавляющего большинства относительно простых любительских супергетеродинов однотранзисторные. Их называют преобразователями с совмещенным гетеродином, так как один и тот же транзистор выполняет одновременно роль гетеродина и смесителя.

Преобразователи частоты многих супергетеродинов, в том числе и массовых промышленных, рассчитаны на прием радиовещательных станций только двух диапазонов — средневолнового и длинноволнового. Коротковолновый диапазон у них часто отсутствует. Объясняется это тем, что введение коротковолнового диапазона связано со значительными усложнениями преобразователей частоты, которые не всегда оправдываются при их эксплуатации. Радиолюбители же чаще собирают еще более простые супергетеродины — однодиапазонные с учетом местных условий радиоприема, но обязательно с усилителем ПЧ. Без усилителя ПЧ супергетеродин работает плохо.

Это краткое отступление может навести тебя на грустные размышления: есть ли смысл собирать простой супергетеродин? Есть, конечно! Потому что его селективность лучше, чем у приемника прямого усиления, и чувствительность более равномерна по всему диапазону волн, перекрываемому приемником. В этом ты убедишься сам.

РАДИОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Практическое освоение супергетеродина следует, считаю, начинать с конструирования и всестороннего испытания радиочастотной части с совмещенным гетеродином. Принципиальную схему такого тракта супергетеродина ты видишь на рис. 235. Усилитель ЗЧ (на схеме не показан) может быть любым из тех, которые ты уже конструировал. Но в принципе усилитель ЗЧ необязателен — нагрузкой детектора радиочастотного тракта могут быть

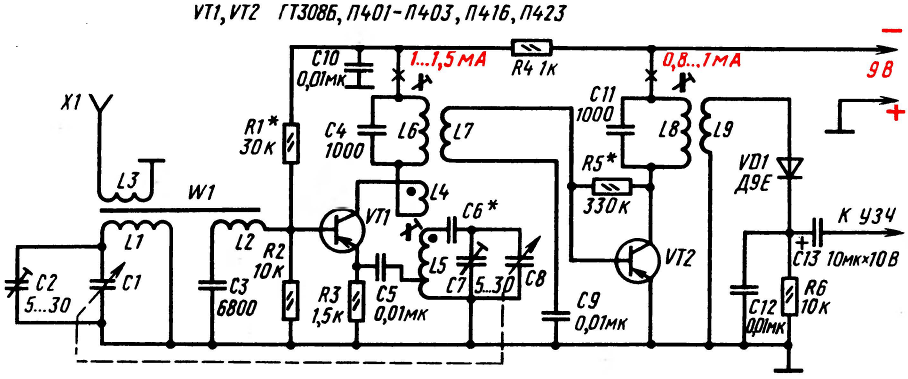


Рис. 235. Принципиальная схема радиочастотной части и детектора транзисторного супергетеродина

головные телефоны, включенные в его цепь вместо резистора R6.

Входная цепь супергетеродина, состоящая из контура L1C1C2 магнитной антенны W1 и катушки связи L2, ничем не отличается от входной цепи радиочастотного каскада приемника прямого усиления. Катушка L4, включенная в коллекторную цепь транзистора, и контур L5C6C7C8, соединенный через конденсатор C5 с эмиттером транзистора VT1, образуют гетеродинную часть преобразователя. Благодаря индуктивной связи между катушками L4 и L5 в контуре L5C6C7C8 возбуждаются электрические колебания, частота которых определяется данными элементов контура и регулируется конденсатором переменной емкости C8.

Часть энергии колебаний радиочастоты, возникающих в гетеродинном контуре, через конденсатор C5 подается в цепь эмиттера транзистора VT1, усиливается им и через катушку обратной связи L4 вновь попадает в гетеродинный контур, поддерживая в нем колебания той частоты, на которую он настроен. Таким образом, на ток транзистора воздействуют одновременно колебания сигнала принимаемой радиостанции и гетеродинного контура. Смешиваясь, они образуют колебания промежуточной частоты, которые выделяются коллекторной нагрузкой транзистора — контуром L6C4, настроенным на промежуточную частоту. Через катушку связи L7 они подаются к усилителю ПЧ.

Резистор R3 в этом однотранзисторном преобразователе можно рассматривать как нагрузку контура гетеродина, на котором выделяется переменное напряжение радиочастоты, вводимое в эмиттерную цепь транзистора. Конденсатор C5 является переходным элементом, связывающим контур гетеродина с транзистором.

Обеспечение сравнительно постоянной разности между частотами настройки гетеродинного и входного контуров, равной 465 кГц, носит название сопряжения контуров. Сопряжение достигается соответствующим выбором индуктивности катушек для каждого диапазона и одновременным изменением емкости конденсаторов настройки этих контуров. А поскольку емкости конденсаторов настройки одинаковы, индуктивность гетеродинной катушки должна быть несколько меньше индуктивности катушки входного контура.

Обращаю твое внимание на конденсатор C6. Его называют сопрягающим. Будучи включенным последовательно с конденсатором настройки, он уменьшает общую емкость контура и тем самым сужает диапазон частот гетеродина. Благодаря сопрягающему конденсатору частота колебаний гетеродина по всему диапазону превышает частоту колебаний принимаемого сигнала на промежуточную частоту 465 кГц. Сопряжение настроек контуров достигается: на высокочастотном участке диапазона — подстроечными конденсаторами C2 и C7, подключенными параллельно конденсаторам настройки C1 и C8, а на низкочастотном — соответствующей подгонкой индуктивностей входной и гетеродинной катушек.

Запомни: сопряжение входного и гетеродинного контуров в соответствии с промежуточной частотой — непременное условие для работы супергетеродина. Если сопряжение сделано недостаточно тщательно, приемник будет работать плохо.

Чтобы стабилизировать работу преобразовательного транзистора, смещение на его базу подается с делителя напряжения R1, R2. Наивыгоднейший режим работы транзистора устанавливают подбором резистора R1. Резистор R4 и конденсатор C10 образуют развязывающий фильтр. Для повышения дальности действия приемника предусмотрена возможность подключения к нему комнатной антенны, штыря или отрезка проволоки длиной около 1,5 м. В этом случае связь внешней антенны, подключаемой к гнезду X1, с входным контуром преобразователя индуктивная, через катушку L3.

Однокаскадный усилитель ПЧ образуют транзистор VT2, контур L8C11 и резистор R5, через который на базу транзистора подается начальное напряжение смещения. Работает он так же, как усилитель РЧ приемника прямого усиления, с той лишь разницей, что нагрузкой транзистора этого каскада служит резонансный контур L8C11, настроенный, как и контур L6C4, на промежуточную частоту. Входная цепь этого каскада посредством катушки L7 связана индуктивно с нагрузкой преобразователя, а выходная — с детектором.

Начиная с катушки связи L9, связывающей каскад усиления промежуточной частоты с детекторным каскадом, все идет, как в приемнике прямого усиления: выделенные диодом VD1 колебания звуковой частоты с его нагрузочного резистора R6, блокированного конденсатором C12, через оксидный конденсатор C13 подаются на вход двух-трехкаскадного усилителя ЗЧ.

Данные большинства деталей радиочастотной части супергетеродина указаны на принципиальной схеме. Не указаны лишь емкости конденсаторов C1 и C8 настройки контуров и сопрягающего конденсатора C6. Объясняется это тем, что неизвестно, каким блоком конденсаторов переменной емкости ты располагаешь, на какой диапазон волн намерен рассчитывать приемник и какой сердечник будешь использовать для гетеродинной катушки L5. Эти данные взаимосвязаны и определяют емкость сопрягающего конденсатора C6.

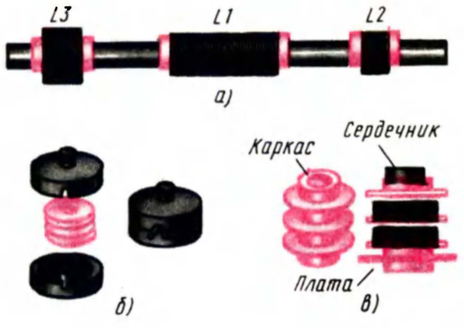


Рис. 236. Катушки супергетеродина

В приемнике можно использовать любой блок конденсаторов, в том числе типовой для ламповых приемников с наибольшей емкостью 495 пФ. Желательно, однако, чтобы он был малогабаритным, таким, как в промышленных транзисторных супергетеродинах. Но и в промышленных приемниках стоят разные по конструкции и емкости блоки конденсаторов. В приемниках «Спутник» и «Сюрприз», например, блоки конденсаторов с наибольшей емкостью 170 пФ, в «Соколе» — 240 пФ, в «Атмосфере» — 250 пФ, в «Спидоле» — 365 пФ. Высокочастотные сердечники, которые можно использовать для гетеродинной катушки L5, тоже могут быть разными. Можно, например, использовать броневой (горшкообразный) карбонильный сердечник марки СБ-12а, в который помещается катушка (рис. 236, *б*), или ферритовый стержень, находящийся внутри самодельного каркаса катушки (рис. 236, *в*). Различные сердечники — разные числа витков катушек.

Ориентировочные данные катушек L1 и L5 с учетом использования в приемнике разных блоков конденсаторов переменной емкости и сердечников для гетеродинной катушки L5 приведены в таблице В. В ней указана и емкость сопрягающего конденсатора С6, соответствующая этим данным.

Если приемник рассчитывать на средневолновый диапазон, катушку L1 следует наматывать в один слой, виток к витку. Если же на длинноволновый, эту катушку нужно наматывать секциями внавал. Катушка связи L2 должна иметь 8...12 витков. Окончательное число витков этой катушки будешь подбирать опытным путем при налаживании приемника. Число витков катушки L3 должно быть примерно в 2—3 раза больше числа витков катушки L1 (намотка внавал).

Для гетеродинных катушек желательно использовать броневой карбонильный сердечник СБ-12а (рис. 236, *б*). На секционированный полистироловый каркас сначала намотай проводом ПЭВ-1 0,1...0,12 контурную катушку L5, распределив витки в ее секциях поровну. Отвод, идущий к эмиттеру транзистора, сделай от четвертого витка (для средних волн) или от шестого витка (для длинных волн), считая от заземленного конца. Затем поверх витков средней секции намотай таким же проводом катушку обратной связи L4. Она должна содержать 20 витков. Каркас с катушками помести внутрь сердечника, предварительно надев на их выводы короткие отрезки изоляционной трубки, чтобы не испортить изоляцию провода. Горшкообразные половинки сердечника склей лаком или клеем БФ-2.

Если не будет карбонильного сердечника, можно использовать для гетеродинной катушки

Таблица В

Сердечник	Катушка L1						Катушка L5					
	СВ			ДВ			СВ			ДВ		
	Наибольшая емкость конденсатора C1, пФ						Наибольшая емкость конденсатора C8, пФ					
	150	250	500	150	250	500	150	250	500	150	250	500
Ферритовый стержень марки 600НН диаметром 8 и длиной 100...120 мм	100	75	50	60 × 5	40 × 4	—	—	—	—	—	—	—
Карбонильный сердечник СБ-12а	—	—	—	—	—	—	120	105	75	175	145	110
Ферритовый стержень марки 600НН диаметром 8 и длиной 13...15 мм	—	—	—	—	—	—	80	60	40	230	180	120
Емкость сопрягающего конденсатора С6, пФ	—	—	—	—	—	—	130	240	470	75	91	180

самодельный секционированный каркас и отрезок ферритового стержня (рис. 236, *в*). Высота гильзы каркаса 13...15 мм, длина сердечника 18...20 мм. Каркас склей из плотной бумаги с таким расчетом, чтобы сердечник с трением входил внутрь гильзы и удерживался в ней. Сначала на каркас намотай внавал гетеродинную катушку L5, затем катушку обратной связи L4. Отвод в гетеродинной катушке сделай от 5—7-го витка, считая от заземленного конца. Число витков катушки обратной связи 15; провод ПЭВ-1 0,1...0,12.

Устройство катушек фильтров ПЧ L6 и L8 и катушек связи L7 и L9 аналогично устройству гетеродинных катушек. Для них, как и для гетеродинных катушек, можно использовать карбонильные броневые сердечники или отрезки ферритового стержня. В первом случае катушки L6 и L8 должны содержать по 75...80 витков, во втором — по 45...50 витков провода ПЭВ-1 0,1. Катушки связи L7 и L9 наматывай поверх катушек фильтров таким же проводом, но диаметром 0,12...0,15 мм. В первом случае катушка L7 должна содержать 15 витков, L9 — 30 витков, а во втором случае — соответственно 10 и 20 витков.

Для преобразовательного каскада используй транзистор с коэффициентом $h_{21э}=40...50$, а для каскада усиления промежуточной частоты — с $h_{21э}$ не менее 60...80. Подстроечные конденсаторы С2 и С7 могут быть любыми.

Полагаю, что преобразователь частоты, усилитель ПЧ и детектор, а также один-два каскада усиления колебаний звуковой частоты (или включенные в цепь детектора головные телефоны), ты сначала соберешь и наладишь на макетной панели. Включив питание, измерь коллекторные токи транзисторов VT1, VT2 и, если они значительно отличаются от указанных на схеме, подгони их подбором резисторов R1 и R5. Эта предварительная, грубая проверка даст возможность судить только о том, нет ли ошибок, плохих контактов или неисправных деталей в цепях приемника. Затем подключи к приемнику внешнюю антенну и попытайся настроить его на какую-либо радиостанцию. При этом подстроечные конденсаторы С2 и С7 входного и гетеродинного контуров установи в положение средней емкости. Если попытка не удастся, значит, гетеродин не генерирует или нет сопряжения контуров преобразователя.

Прежде всего проверь, работает ли гетеродин. Подключи параллельно резистору R3 вольтметр постоянного тока и замкни накоротко катушку L5. При исправной работе гетеродина после закорачивания катушки напряжение на эмиттере должно немного уменьшиться. Если напряжение не изменится, значит, гетеродин не генерирует. В этом случае надо поменять местами включение выводов катушки обратной связи L4 или, уменьшив сопротивление резистора R1, немного увеличить напряжение на базе транзистора VT1.

При исправной работе гетеродина тебе удастся настроиться на какую-либо радиостанцию. Если радиоприем будет сопровождаться свистом, искажающим передачу, отодвинь антенную катушку L3 и катушку связи L2 от контурной катушки L1. Затем, изменяя индуктивность катушек фильтров промежуточной частоты (подстроечными сердечниками или перемещая катушки по ферритовым стержням) — сначала катушки L8, а затем катушки L6, добейся наибольшей громкости приема сигналов этой станции.

Теперь переходи к самому кропотливому делу — сопряжению настроек входного и гетеродинного контуров. Блок конденсаторов С1 и С8 установи в положение максимальной емкости и только подстроечным сердечником гетеродинной катушки L5 настрой приемник на какую-либо радиостанцию наиболее низкочастотного участка диапазона. Далее изменением индуктивности катушки L1 входного контура путем перемещения ее по ферритовому стержню магнитной антенны добейся наибольшей громкости приема сигналов этой радиостанции. Затем настрой приемник на радиостанцию высокочастотного участка диапазона (емкость конденсаторов блока КПЕ наименьшая). Теперь, не трогая катушек, сопрягай контуры только подстроечными конденсаторами С2 и С7. При этом ты можешь увеличивать емкость первого конденсатора и уменьшать емкость второго или, наоборот, уменьшать емкость первого и увеличивать емкость второго. Задача одна — добиться наибольшей громкости приема этой станции.

На этом налаживание радиочастотной части супергетеродина еще не заканчивается. Надо еще раз подстроить гетеродинный и входной контуры в конце и начале диапазона, затем еще раз подстроить контуры L8C11 и L6C4 фильтров промежуточной частоты и снова вернуться к контурам преобразователя приемника. И может быть, даже не один, а два-три раза, пока никакие подстроечные элементы уже не будут улучшать работу приемника.

Не исключено, что приемник станет самовозбуждаться. Причиной этого неприятного явления может быть неудачное размещение контура гетеродина и контуров промежуточной частоты относительно магнитной антенны и по отношению друг к другу. Ищи лучшее размещение этих элементов приемника. Если не поможет, то попробуй менять местами выводы катушек связи L7 и L9, укорачивать или разносить проводники цепей баз и коллекторов транзисторов. А если возникает генерация из-за связи каскадов через цепи питания, включи в цепь

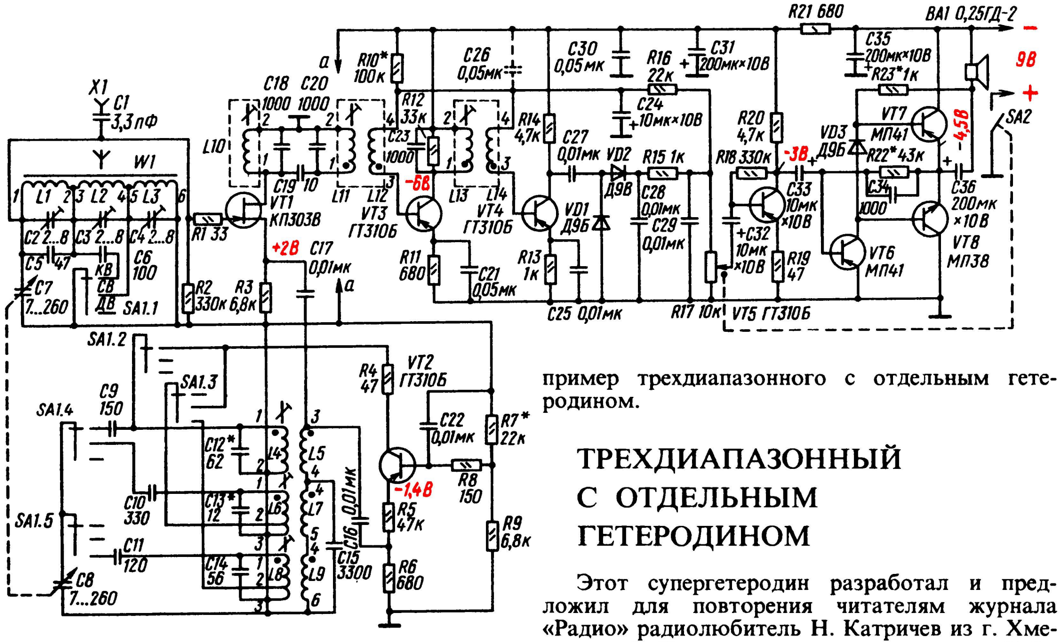

X1
C1 3,3пФ
W1
L1
L2
L3
C2 2...8
C3 2...8
C4 2...8
C5 47
C6 100
C7 7...260
КВ
СВ
ДВ
SA1.1
SA1.2
SA1.3
SA1.4
SA1.5
R1 33
R2 330к
R3 6,8к
L10
C18 1000
C20 1000
C19 10
VT1 КП303В
+2В
C17 0,01мк
а
R10* 100к
R12 33к
C23 1000
L11
L12
VT3 ГТ310Б
-6В
R11 680
C21 0,05мк
C26 0,05мк
L13
L14
VT4 ГТ310Б
R14 4,7к
R13 1к
C27 0,01мк
VD1 Д9Б
VD2 Д9В
C25 0,01мк
C30 0,05мк
R16 22к
C31 200мк×10В
C24 10мк×10В
R15 1к
C28 0,01мк
C29 0,01мк
R17 10к
VT5 ГТ310Б
R21 680
R20 4,7к
R18 330к
-3В
C33 10мк ×10В
C32 10мк ×10В
R19 47
VD3 Д9Б
VT6 МП41
C35 200мк×10В
R23* 1к
VT7 МП41
R22* 43к
C34 1000
-4,5В
C36 200мк ×10В
VT8 МП38
BA1 0,25ГД-2
SA2
9В
C9 150
C10 330
C11 120
C8 7...260
C12* 62
C13* 12
C14 56
L4
L5
L6
L7
L8
L9
C16 0,01мк
C15 3300
R4 47
VT2 ГТ310Б
C22 0,01мк
R7* 22к
R8 150
-1,4В
R5 47к
R6 680
R9 6,8к

Рис. 237. Принципиальная схема трехдиапазонного супергетеродина

коллектора транзистора VT2 усилителя ПЧ точно такой же развязывающий фильтр, как в цепи транзистора преобразователя частоты.

Когда устранишь все неполадки и наладишь приемник, начнется завершающий этап — сборка деталей на монтажной плате и монтаж приемника в футляр. Здесь все зависит от твоей смекалки, инициативы и, конечно, возможностей. Можно, например, портативный приемник прямого усиления (по схеме на рис. 217) преобразовать в супергетеродин. При этом тебе придется только перемонтировать радиочастотную часть, превратив ее в каскад усиления промежуточной частоты и преобразователь частоты. Место на монтажной плате для новых деталей там есть. А детекторный каскад и усилитель ЗЧ приемника останутся без изменений.

Если решишь делать новый приемник, то, учитывая размеры и особенности имеющихся деталей, продумай хорошенько его монтажную схему, конструкцию футляра и только тогда принимайся за дело. Опыт у тебя есть, так что решай самостоятельно все эти практические вопросы.

Впрочем, можно заняться постройкой более сложного транзисторного супергетеродина, например трехдиапазонного с отдельным гетеродином.

ТРЕХДИАПАЗОННЫЙ С ОТДЕЛЬНЫМ ГЕТЕРОДИНОМ

Этот супергетеродин разработал и предложил для повторения читателям журнала «Радио» радиолюбитель Н. Катричев из г. Хмельницкий. Приемник понравился многим. Тебе, надеюсь, он тоже придется по душе и по твоим силам.

Знакомство с приемником начнем по его принципиальной схеме, приведенной на рис. 237. Будучи тщательно налаженным, он обеспечивает уверенный прием на внутреннюю магнитную антенну радиостанций длинноволнового (ДВ), средневолнового (СВ) диапазонов и участка коротковолнового (КВ), перекрывающего вещательные диапазоны 25 и 31 м. Промежуточная частота приемника 465 кГц, выходная мощность около 125 мВт. Для борьбы с затуханиями сигналов, особенно характерными для станций диапазона КВ, в приемник введена система автоматического регулирования усиления — АРУ. Питается приемник от источника постоянного тока напряжением 9 В, которым может быть батарея «Крона» или аккумуляторная батарея 7Д-0,1. Средний потребляемый ток не превышает 50 мА. Работоспособность приемника сохраняется при снижении напряжения источника питания до 5,5...6 В.

Всего в приемнике работает восемь транзисторов, один из которых (VT1) полевой. Транзисторы VT1 и VT2 работают в преобразователе частоты с отдельным гетеродином, транзисторы VT3 и VT4 — в двухкаскадном усилителе ПЧ, транзисторы VT5 — VT8 — в трехкаскадном бестрансформаторном усилителе ЗЧ. Коммутация входных цепей и цепей гетеродина осуществляется пятисекционным переключателем SA1.

Верхнее (по схеме) положение замыкающих контактов секций переключателя соответствует включению диапазона КВ, среднее — диапазону СВ, нижнее — диапазону ДВ.

Полевой транзистор VT1 включен по схеме ОС, что обеспечивает ему большое входное сопротивление, биполярные транзисторы VT3—VT6 — по схеме ОЭ, а VT7 и VT8 — по схеме ОК, т. е. эмиттерными повторителями. Отрицательное напряжение на сток полевого транзистора (он с каналом n-типа) подается через общий «заземленный» проводник и катушку L10 в стоковой цепи. Указанные на схеме напряжения на электродах транзисторов измерены вольтметром с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В.

Входные настраиваемые контуры приемника образуют соединенные последовательно катушки L1—L3, находящиеся на одном общем ферритовом стержне магнитной антенны W1, и конденсатор переменной емкости C7. Подстроечные конденсаторы C2—C4 и постоянные C5, C6 обеспечивают необходимое сопряжение настроек входных и гетеродинных контуров. В участке диапазона КВ во входной контур включается только катушка L1, в диапазоне СВ — катушки L1 и L2, а в диапазоне ДВ — все три последовательно соединенные катушки L1—L3.

Сигнал радиостанции, на волну которой настроен входной контур, поступает через резистор R1 на затвор полевого транзистора, работающего в смесителе преобразователя частоты. Напряжение смещения на этом электроде транзистора создается истоковым резистором R3. Резистор R2 — вспомогательный элемент; он необходим на случай обрыва в одной из контурных катушек. Через конденсатор C1 (и гнездо X1) ко входу приемника может быть подключена внешняя антенна, улучшающая прием сигналов наиболее отдаленных радиовещательных станций.

Гетеродин преобразователя частоты супергетеродина выполнен на транзисторе VT2 по схеме индуктивной обратной связи между базовой и эмиттерной цепями. Колебательный контур диапазона КВ гетеродина образуют катушка L4 и конденсаторы C8, C9 и C12, диапазона СВ — катушка L6 и конденсаторы C8, C10 и C13, диапазона ДВ — катушка L8 и конденсаторы C8, C11, C14. Конденсатор переменной емкости C8, входящий во все контуры гетеродина, совместно с конденсатором переменной емкости C1 входных контуров образует блок КПЕ настройки приемника.

Отрицательное напряжение питания на коллектор транзистора гетеродина подается через ту из контурных катушек L4, L6, L8, которая контактами секций SA1.2, SA1.3 переключателя диапазонов SA1 включена в контур гетеродина. Секции SA1.4 и SA1.5 этого переключателя включают в соответствующие контуры сопрягающие конденсаторы C9—C11. Так, например, при включении диапазона СВ напряжение на коллектор гетеродинного транзистора подается через катушку L6, контакты секции SA1.3 переключателя и резистор R4, а контакты секции SA1.4 включают в контур L6C13 сопрягающий конденсатор C10.

Катушки L5, L7 и L9, индуктивно связанные с соответствующими им катушками колебательных контуров, являются катушками положительной обратной связи, благодаря которой каскад возбуждается и генерирует электрические колебания. Частота их превышает частоту входного сигнала на 465 кГц. Через конденсатор C17 высокочастотное напряжение гетеродина подается в истоковую цепь полевого транзистора VT1 и, смешиваясь с напряжением входного сигнала, создает в его стоковой цепи колебания промежуточной частоты.

Режим работы транзистора гетеродина по постоянному току обеспечивается резисторами R6, R7 и R9. Резисторы R4 и R5 улучшают форму генерируемых колебаний. Конденсатор C15, шунтирующий катушки L7 и L9 по переменному току, содействует устойчивости работы гетеродина в диапазоне КВ.

Контуры L10C18 и L11C20, настроенные на промежуточную частоту 465 кГц и связанные между собой через конденсатор C19, образуют полосовой фильтр ПЧ, обеспечивающий приемнику необходимую селективность по соседнему частотному каналу. Через катушку связи L12 колебания промежуточной частоты поступают на вход усилителя ПЧ. Его первый каскад на транзисторе VT3 — резонансный. Нагрузкой транзистора служит контур L13C23, настроенный, как и контуры L10C18 и L11C20, на промежуточную частоту. Шунтирующий его резистор R12 обеспечивает необходимую полосу частот, пропускаемую этим каскадом.

Далее сигнал ПЧ через катушку связи L14 поступает на базу транзистора VT4 второго каскада, а с его нагрузочного резистора R14 через конденсатор C27 — на вход детекторного каскада, диоды VD1 и VD2 которого включены по схеме умножения выходного напряжения. Нагрузкой детекторного каскада служит переменный резистор R17, выполняющий одновременно и функцию регулятора громкости. Конденсаторы C28, C29 и резистор R15 образуют фильтр, «очищающий» сигнал звуковой частоты от радиочастотной составляющей продетектированного сигнала.

Смещение на базы обоих транзисторов усилителя ПЧ подается через один общий резистор R10, образующий с резисторами R16 и R17 делитель напряжения источника питания, и соответствующие им катушки связи L12 и L14.

Одновременно в базовые цепи этих транзисторов подается и напряжение АРУ, снимаемое с нагрузочного резистора R17 детектора и фильтруемое ячейкой R16C24. Действует система АРУ следующим образом. При повышении уровня сигнала радиостанции, на которую приемник настроен, положительное напряжение постоянной составляющей продетектированного сигнала, создающееся на верхнем (по схеме) выводе резистора R17, возрастает. Это изменившееся напряжение на выходе детектора, в свою очередь, уменьшает отрицательное смещение на базах транзисторов усилителя ПЧ и тем самым снижает его коэффициент усиления. При уменьшении уровня входного сигнала происходят обратные процессы, в результате чего исходный режим работы транзисторов усилителя ПЧ автоматически восстанавливается. Замечу: в этом приемнике система АРУ охватывает оба каскада усилителя ПЧ, а не один, как часто бывает в подобных любительских супергетеродинах.

Резисторы R11 и R13, зашунтированные по переменному току конденсаторами C21 и C25, являются элементами термостабилизации режимов работы транзисторов усилителя ПЧ.

С движка переменного резистора R17 сигнал звуковой частоты, выделенный детектором, подается через конденсатор C32 на вход трехкаскадного усилителя ЗЧ с двухтактным бестрансформаторным выходом. Динамическая головка BA1, подключенная через конденсатор C36 к выходу усилителя, преобразует колебания звуковой частоты в звук. Эта часть приемника тебе уже знакома, поэтому не стану останавливаться на ее деталях.

Резистор R21 и конденсаторы C30, C31 образуют развязывающий фильтр, предотвращающий возбуждение приемника из-за возможных паразитных связей между его каскадами через общий источник питания.

Все детали приемника, кроме динамической головки и батареи питания, смонтированы на печатной плате, выполненной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Плату можно разместить в корпусе промышленного приемника «Селга-402». Конденсатор C26, показанный на схеме штриховыми линиями, включают в том случае, если усилитель ПЧ станет самовозбуждаться. Его устанавливают со стороны печатных проводников монтажной платы. Динамическая головка 0,25ГД-2 (такая же, как в приемнике «Селга-402») укреплена на лицевой стенке корпуса. Настройка приемника осуществляется с помощью верньерного механизма, связанного с осью блока КПЕ.

Вид на монтажную плату приемника со стороны установки деталей показан на рис. 238, а разметка печатной платы и соединения деталей на ней — на рис. 239. Все постоянные резисторы — МЛТ-0,125 (или УЛМ), переменный резистор R17 с выключателем питания SA2 — СП3-3В. Конденсаторы C1, C5 и C6, C8—C19 — КТ-1а, C18, C20 и C23 — ПМ-1; остальные постоянные конденсаторы — типа C10-7 В. Оксидные конденсаторы — К50-6.

В приемнике использован блок КПЕ типа КПТМ-4. На его корпусе находятся четыре подстроечных конденсатора, роторы которых попарно соединены между собой. Из них три конденсатора (C2—C4) включены во входные контуры приемника. У некоторых блоков КПЕ этого типа роторы всех четырех подстроечных конденсаторов соединены между собой и с общей осью конденсаторов через контактную пружинящую пластину. Такой блок КПЕ перед

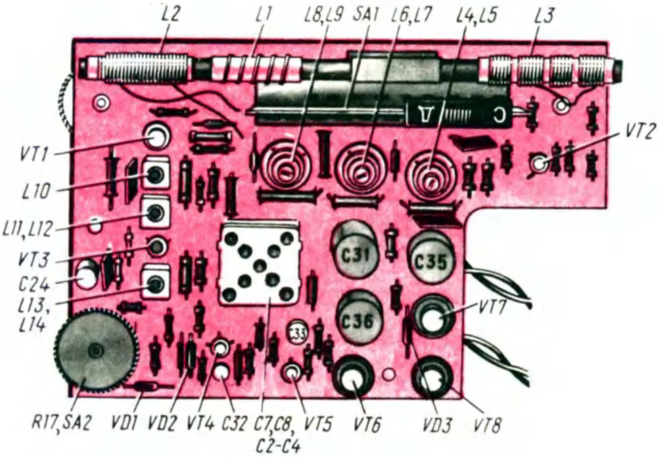


Рис. 238. Размещение деталей на плате

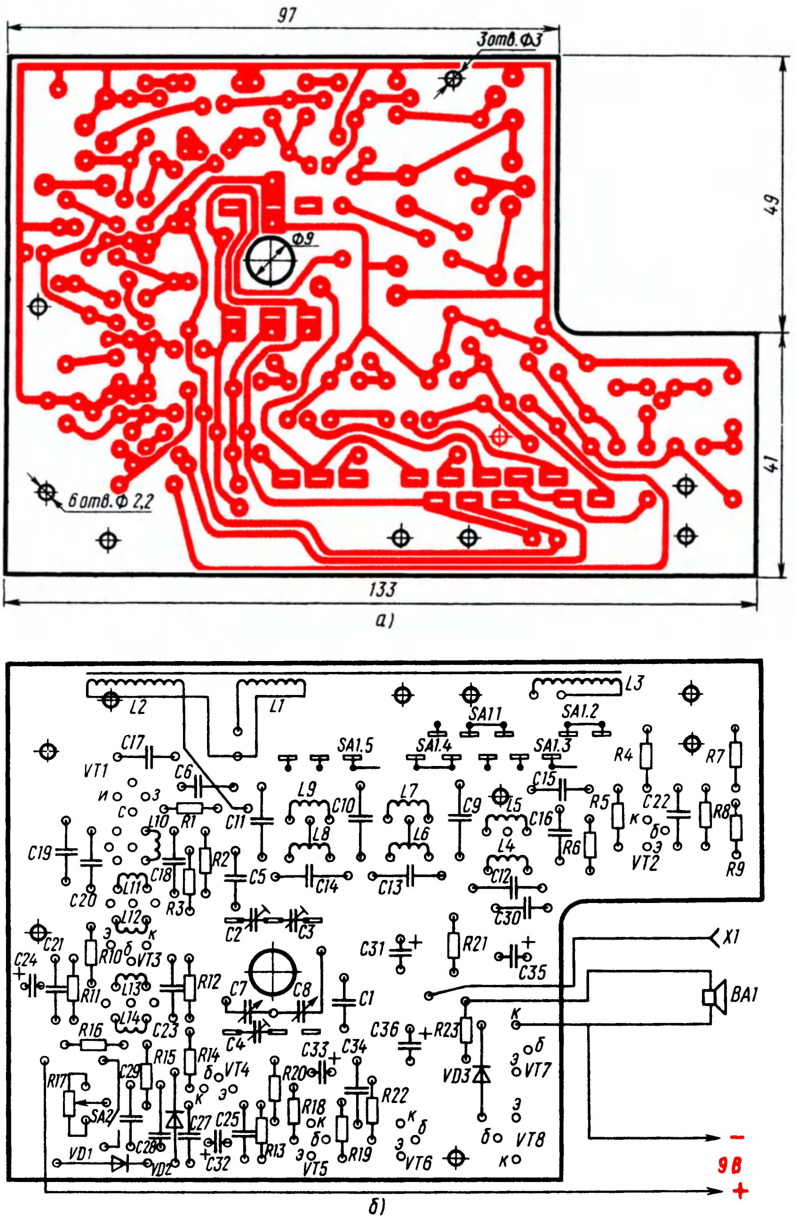

97
3отв.Ф3
49
Ф9
41
6отв.Ф 2,2
133
а)
L2
L1
L3
SA1.1
SA1.2
C17
VT1
C6
SA1.5
SA1.4
SA1.3
R4
R7
и
з
с
L10
R1
C11
L9
C10
L7
C9
L5
C15
R5
C22
R8
C19
C20
L11
C18
R2
R3
C5
L8
C14
L6
C13
L4
C12
C16
R6
к
б
э
VT2
R9
C30
C2
C3
L12
C21
C24
R10
VT3
R11
L13
R12
L14
C23
C7
C8
C4
C1
C31
R21
C35
X1
BA1
C36
R23
VD3
VT7
R16
R15
R14
VT4
R17
SA2
C29
C27
C25
C28
VD1
VD2
C32
R13
R20
C33
C34
R18
R19
R22
VT5
VT6
VT8
–
9В
+
б)

Рис. 239. Печатная плата (*а*) трехдиапазонного супергетеродина и соединения деталей на ней (*б*)

установкой следует доработать: разрезать на две части общую пружинящую пластину и подпаять вывод из монтажного провода к той части пластины, которая соединена только с одной парой роторов подстроечных конденсаторов. При установке его в приемник надо следить, чтобы вывод той части пружинящей пластины, которая соединена с осью конденсаторов блока, был припаян не к общему «заземленному», а к минусовому проводнику источника питания. Добавленный вывод припаивают к точке соединения подстроечных конденсаторов C2 и C3 на печатной плате.

Переключатель диапазонов SA1 продольно-движкового типа от приемника «Сокол» (о переключателе этого типа я рассказывал в восьмой беседе, такой переключатель использовался в электрофоне). Но он доработан: неиспользуемые контактные группы удалены, а новый движок переключателя изготовлен из гетинакса толщиной 1 мм по чертежу, приведенному на рис. 240. Вставленные в отверстия движка замыкающие контакты должны соответствовать коммутации цепей гетеродина. К движку приклеена ручка управления в виде кнопки. Для установки движка переключателя в третье положение прямоугольное отверстие в задней крышке корпуса удлинено по размеру этой ручки.

Для магнитной антенны использован стержень из феррита марки 150ВЧ диаметром 10 и длиной 130 мм. Боковые поверхности сточены до толщины стержня 7 мм (стержень 150ВЧ диаметром 8 мм доработки не требует). Катушки L1 — L3 намотаны на бумажных гильзах, склеенных с таким расчетом, чтобы при налаживании приемника их можно было перемещать по стержню. Катушка L1 содержит 5,5 витка провода ПЭВ-2 0,2 (шаг намотки 2 мм), L2 — 80 витков такого же провода, L3 — 250 витков провода ПЭВ-2 0,12, намотанных четырьмя секциями. Стержень удерживается на плате кронштейном, изготовленным из листового органического стекла толщиной 0,8 мм. Заготовка, нагретая в кипящей воде, изогнута на оправке, имеющей форму стержня. К печатной плате кронштейн прикреплен двумя винтами М2 с гайками, после чего его стенки стянуты винтом М2 с потайной головкой.

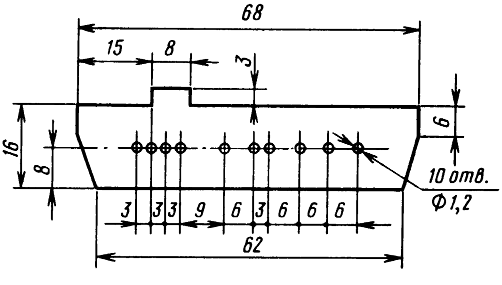


Рис. 240. Движок переключателя диапазонов

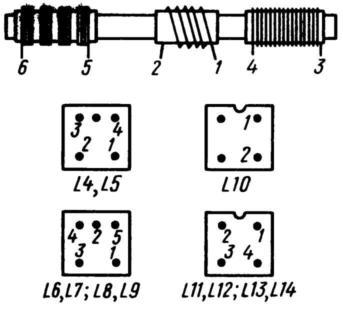


Рис. 241. Катушки супергетеродина

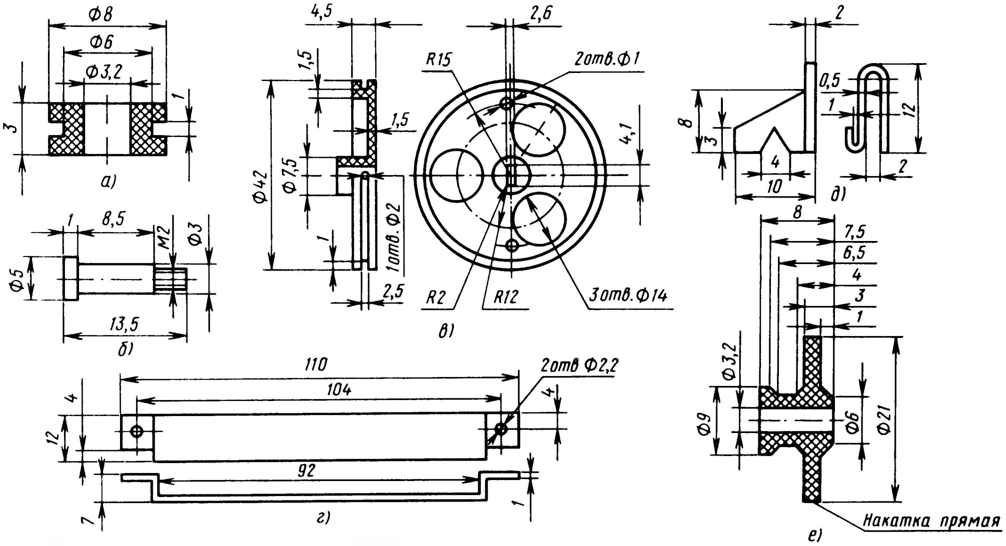
Для гетеродинных катушек пригодны каркасы с подстроечными ферритовыми сердечниками от любого транзисторного промышленного супергетеродина. В катушке L4 должно быть 13 витков провода ПЭВ-2 0,2, L5 — 2 витка такого же провода. Остальные гетеродинные катушки намотаны проводом ПЭВ-2 0,12 и содержат: L6 — 110 + 15 витков, L8 — 190 + 25 витков, L7 и L9 — по 4 витка.

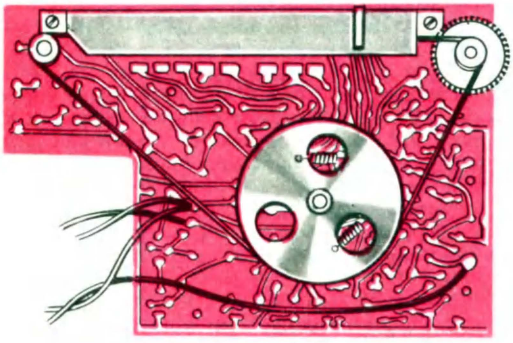
Катушки фильтров ПЧ, намотанные проводом ПЭВ-2 0,12, помещены в ферритовые чашки диаметром 6,1 мм с арматурой (от приемника «Этюд» или подобного ему). Контурные катушки L10, L11 и L13 содержат по 90 витков, а катушки связи L12 и L14, намотанные в верхних секциях их каркасов (со стороны подстроечных сердечников),— соответственно 90 и 30 витков.

Нумерация выводов всех катушек, соответствующая помеченной на принципиальной схеме приемника, указана на рис. 241.

Вид на верьерное устройство со стороны печатных проводников монтажной платы и чертежи его деталей показаны на рис. 242. Для визира *д* можно использовать листовой алюминий или латунь толщиной 0,2...0,3 мм. Подшкальную планку *г* можно сделать из органического стекла или другого термопластичного листового материала, нагревая заготовку по линии сгиба ребром горячего утюга. Малый шкив *а* и большой шкив *в* желательно выточить на токарном станке из любой пластмассы. Ручку настройки *е* и малый шкив устанавливают на стальных осях *б*, укрепляемых на плате гайками М2. Для закрепления большого шкива ось блока КПЕ следует подпилить надфилем, придав ей форму поперечного сечения, аналогичную форме центрального отверстия шкива.

В приемнике вместо транзисторов ГТ310Б можно использовать транзисторы серии ГТ309





ж)

Рис. 242. Верньерное устройство и его детали

или другие высокочастотные структуры p-n-p со статическим коэффициентом передачи тока не менее 50. Полевой транзистор КП303В можно заменить на любой другой этой серии. Подойдет также транзистор серии КП302, но в этом случае сопротивление резистора R3 в истоковой цепи должно быть 10...20 кОм. В усилителе ВЧ также могут быть использованы другие транзисторы соответствующих структур: МП39—МП42 и МП35—МП38.

Тщательно проверив монтаж, включи питание и установи режим работы транзисторов по постоянному току (напряжения на электродах транзисторов указаны на принципиальной схеме). Затем резистор R23 временно замени соединенными последовательно постоянным резистором сопротивлением 510 Ом и переменным 1 кОм, а резистор R22 — постоянным 10 кОм и переменным 100 кОм и подай от генератора колебаний звуковой частоты на резистор R17, выполняющий функцию регулятора громкости, сигнал частотой 1000 Гц напряжением 10...15 мВ. Подбором сопротивлений переменных резисторов цепочек, заменивших резисторы R23 и R22, добейся максимально неискаженного выходного сигнала. Постоянное напряжение на эмиттерных выводах транзисторов VT7 и VT8 при этом должно составлять примерно половину напряжения источника питания.

Для контроля амплитуды и формы выходного сигнала желательно использовать осциллограф, подключив его вход Y параллельно звуковой катушке динамической головки.

Для динамической головки со звуковой катушкой сопротивлением 8...10 Ом номинал резистора R23 1 кОм не является оптимальным. Максимальная неискаженная выходная мощность может быть при сопротивлении этого резистора около 500 Ом. Но в этом случае коллекторный ток транзистора VT6 увеличится, что несколько снизит экономичность усилителя в режиме покоя.

Усилитель ЗЧ можно считать налаженным нормально, если при напряжении источника питания 9 В и напряжении входного сигнала 10...15 мВ переменное напряжение на звуковой катушке динамической головки будет не менее 1,4 В.

Настраивать контуры ПЧ и гетеродина можно по сигналам радиовещательных станций — так же, как ты это делал при налаживании радиочастотного тракта первого супергетеродина. Но при таком методе не всегда удается добиться хорошей работы приемника повышенной сложности, особенно трехдиапазонного. Для быстрой и качественной настройки радиочастотного тракта такого супергетеродина нужен ГСС — генератор стандартных сигналов, т. е. измерительный прибор, имитирующий сигналы радиовещательных станций. Такие приборы есть в кабинетах физики общеобразовательных школ, в радиолабораториях внешкольных учреждений, в спортивно-технических школах и клубах, куда ты можешь обратиться за помощью.

С помощью ГСС радиочастотный тракт приемника настраивай в такой последовательности. Первыми настраивай контуры усилителя ПЧ. Предварительно движок переключателя диапазонов SA1 удали из основания, чтобы сорвать колебания гетеродина. Блок КПЕ установи в положение максимальной емкости. На гнездо X1 и общий «заземленный» провод подай от ГСС модулированный сигнал промежуточной частоты 465 кГц такого уровня, при котором в динамической головке прослушивается частота модуляции. Вращением подстроечных сердечников катушек L10, L11 и L13 добейся максимального напряжения на выходе приемника (по мере настройки контуров ПЧ входное напряжение уменьшай). Затем подбором резистора R10 добейся максимально устойчивой работы усилителя ПЧ. Если при этом усилитель будет самовозбуждаться, то включи конденсатор C26, показанный на схеме штриховыми линиями.

Далее при вставленном движке переключателя диапазонов настраивай преобразователь частоты, начиная с гетеродина. Прежде всего убедись в наличии колебаний гетеродина на всех диапазонах при ввернутых подстроечниках контурных катушек. Чтобы проверить, генерирует ли он, к крайним точкам катушек L5, L7 и L9 подключи последовательно соединенные любой высокочастотный диод и вольтметр постоянного тока. На всех диапазонах показания вольтметра должны быть в пределах 0,3...0,5 В.

Приступая к настройке контуров гетеродина, блок КПЕ приемника установи в положение максимальной емкости конденсаторов, а на гнездо X1 подай от ГСС модулированный сигнал напряжением 50...200 мкВ, соответствующий наименьшей частоте каждого из диапазонов. Для диапазона ДВ частота этого сигнала должна быть 145 кГц, для диапазона СВ — 515 кГц, для участка диапазона КВ — 9,2 мГц. Вращением подстроечного сердечника гетеродинной катушки соответствующего диапазона добейся максимального сигнала модулирующей частоты на выходе приемника. В диапазоне КВ максимальный выходной сигнал может быть при двух положениях подстроечного сердечника. Подстроечник устанавливают в положение, при котором индуктивность катушки L4 наименьшая. После этого подбором резистора R7 добейся устойчивой генерации гетеродина во всех диапазонах при снижении напряжения источника питания до 5 В.

После настройки гетеродинных контуров уровень сигналов ГСС надо предельно уменьшить и на наименьшей частоте каждого из диапазонов путем перемещения их входных катушек по ферритовому стержню магнитной антенны добиться максимального сигнала на выходе приемника.

На этом настройку приемника можешь считать законченной. Остается разместить монтажную плату и батарею питания в готовом подходящем или самодельном корпусе.

Расскажу еще об одном любительском супергетеродине...

НА МИКРОСХЕМАХ СЕРИИ К224

Принципиальная схема этого варианта любительского супергетеродина изображена на рис. 243. Здесь же приведены схемы и нумерация выводов, используемых в приемнике микросхем. Приемник однодиапазонный, с внутренней магнитной антенной. Рассчитан на прием радиостанций средневолнового диапазона. Питается от батареи напряжением 9 В.

В приемнике, как видишь, использованы три микросхемы: К2ЖА242 (DA1), К2УС248 (DA2) и К2УС245 (DA3). Первая из них, содержащая два транзисторных каскада, работает в преобразователе частоты с отдельным гетеродином, вторая — в двухкаскадном усилителе ПЧ (транзисторы второго каскада микросхемы включены по так называемой каскодной схеме), третья — в пятикаскадном предварительном усилителе напряжения звуковой частоты (транзисторы первого и третьего каскадов включены по схеме ОК, остальные — по схеме ОЭ). В выходном двухтактном бестрансформаторном усилителе мощности работают низкочастотные маломощные германиевые транзисторы структур n-p-n (VT1) и p-n-p (VT2). Выходная мощность приемника около 150 мВт, промежуточная частота 465 кГц.

Входной контур магнитной антенны W1 образуют катушка L1 и конденсаторы C1 и C2, контур гетеродина — катушка L4 и конденсаторы C3—C6. Контуры настраивают блоком КПЕ C1 и C5. Конденсатор C4 контура гетеродина — сопрягающий: он обеспечивает разность частот гетеродинного и входного

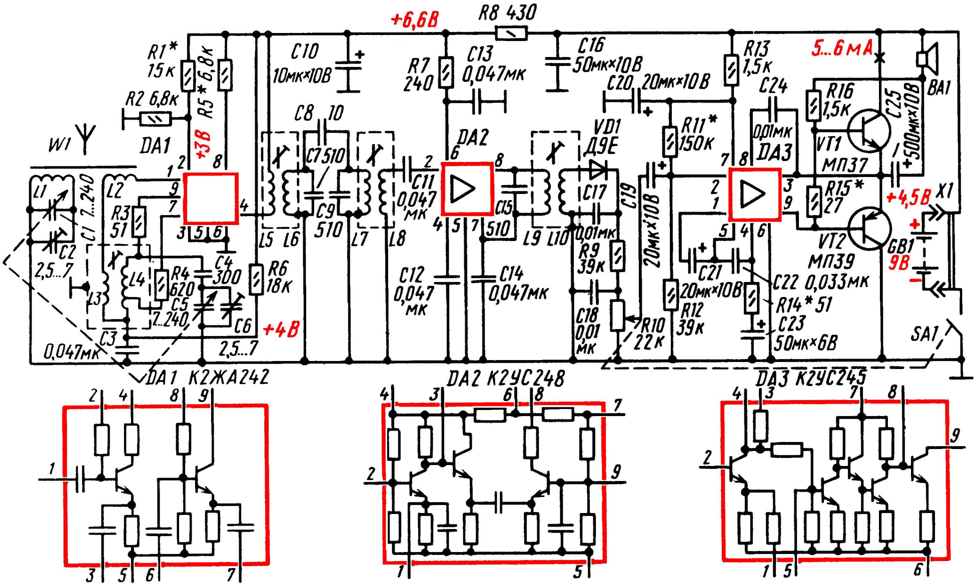

+6,6В
R8 430
C10 10мк×10В
C16 50мк×10В
R7 240
C13 0,047мк
C20 20мк×10В
R13 1,5к
5...6мА
BA1
R1* 15к
R5* 6,8к
R2 6,8к
W1
DA1
+3В
C8 10
C7 510
C9 510
DA2
C11 0,047мк
VD1 Д9Е
R11* 150к
C24 0,01мк
DA3
R16 1,5к
VT1 МП37
C25 +500мк×10В
R15* 27
VT2 МП39
+4,5В
X1
GB1 9В
L1
L2
C1 7...240
C2 2,5...7
R3 51
L3
L4
R4 620
C4 300
C5 7...240
C6 2,5...7
C3 0,047мк
R6 18к
+4В
L5 L6
L7 L8
C12 0,047мк
C14 0,047мк
C15 510
L9 L10
C17 0,01мк
C19 20мк×10В
R9 39к
C18 0,01мк
R10 22к
R12 39к
C21 20мк×10В
C22 0,033мк
R14* 51
C23 50мк×6В
SA1
DA1 К2ЖА242
DA2 К2УС248
DA3 К2УС245

Рис. 243. Супергетеродин на микросхемах серии К224

контуров, равную промежуточной частоте приемника. Подстроечными конденсаторами С2 и С6 осуществляют сопряжение настроек контуров на высокочастотном конце диапазона, перекрываемого приемником. Конденсатор С3 — блокировочный. Его емкость во много раз больше емкости последовательно соединенных конденсаторов С4 и С5, поэтому он практически не влияет на частоту контура гетеродина, а лишь предотвращает замыкание постоянной составляющей тока транзистора этого каскада на заземленный проводник приемника.

Питание на электроды транзисторов микросхемы DA1 подается: на коллектор транзистора смесительного каскада — через катушку L5 высокочастотного трансформатора L5L6 и вывод 4; на базу этого транзистора — с делителя напряжения R1, R2 через вывод 2 микросхемы; на коллектор транзистора гетеродина — через резистор R6, катушку L4, резистор R3 и вывод 9, а на его базу — через резистор R5 и вывод 8. Нижняя (по схеме) секция катушки L4, соединенная через резистор R4 и внутренний конденсатор микросхемы с эмиттером транзистора гетеродина, выполняет роль катушки обратной связи.

Принятый сигнал радиостанции через катушку связи L2, индуктивно связанную с катушкой L1 контура магнитной антенной, поступает на вывод 1 микросхемы. Сюда же через ту же катушку связи подается и сигнал гетеродина. В результате смешения сигналов радиостанции и гетеродина в выходной цепи микросхемы (вывод 4 — катушка L5) возникают колебания промежуточной частоты 465 кГц. Контуры L6C7 и L7C9, настроенные на эту частоту, образуют полосовой фильтр промежуточной частоты. Первый контур через катушку L5 связан с преобразователем частоты, второй — через катушку L8 и конденсатор C11 — со входом 2 микросхемы DA2. С контура L9C15, включенного в выходную цепь этой микросхемы (выводы 7 и 8), усиленный сигнал промежуточной частоты через катушку связи L10 подается на диод VD1 для детектирования.

Питание на транзисторы микросхемы DA2 подается через развязывающий фильтр R7C13. Конденсаторы C12 и C14 совместно с внутренними резисторами этой микросхемы образуют дополнительные развязывающие фильтры, предотвращающие самовозбуждение усилителя ПЧ.

Нагрузкой детектора служит переменный резистор R10, выполняющий одновременно и роль регулятора громкости. Колебания звуковой частоты, снимаемые с его движка, через конденсатор C19 поступают на вход (вывод 2) микросхемы DA3. С вывода 1 сигнал ЗЧ, усиленный первым каскадом этой микросхемы, через оксидный конденсатор C21 поступает на вход (вывод 5) второго каскада. Усиленный этим каскадом сигнал с вывода 9 подается в базовую цепь транзисторов VT1 и VT2 усилителя мощности, нагруженного (через конденсатор C25) на динамическую головку BA1.

Резисторы R11 и R12 образуют делитель, с которого на базу первого транзистора микросхемы DA3 подается положительное напряжение смещения, а резистор R13 с конденсатором C20 — ячейку развязывающего фильтра. Напряжение питания на вывод 3 микросхемы DA3 снимается со средней точки эмиттеров транзисторов VT1 и VT2 (точка симметрии). Одновременно по этой цепи с выхода усилителя мощности на вход микросхемы подается сигнал отрицательной обратной связи, улучшающий частотную характеристику усилителя ЗЧ.

Глубину отрицательной обратной связи регулируют подбором резистора R14. Конденсатор C24 создает цепь отрицательной обратной связи для высших частот усиливаемого сигнала. Подбором емкости этого конденсатора можно регулировать тембр звука. Резистор R15 создает на базах транзисторов VT1 и VT2 (относительно эмиттеров) небольшое напряжение смещения, устраняющее искажения типа «ступенька» при слабом входном сигнале. Конденсатор C16, шунтирующий источник питания по переменному току, улучшает условия работы приемника при частично разрядившейся батарее. Резистор R8 и конденсатор C10 образуют развязывающий фильтр, предотвращающий паразитную связь между усилителями ЗЧ и РЧ приемника через общий источник питания.

Указанные на принципиальной схеме напряжения на некоторых участках цепей приемника измерены относительно заземленного проводника цепи питания вольтметром с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В при напряжении батареи, равном 9 В.

Все детали приемника, кроме динамической головки, можно смонтировать на одной общей печатной плате с внешними размерами 130 × 80 мм, выполненной из фольгированного стеклотекстолита или гетинакса толщиной 2 мм. Головку BA1 типа 0,5ГД-21, определяющую размеры приемника, крепят непосредственно к лицевой стенке корпуса.

Внешний вид монтажной платы, разметка печатной платы (со стороны печатных проводников) и схема соединений деталей на ней показаны на рис. 244. Конденсаторы C1, C5 и C2, C6 — блок КПЕ-3 транзисторного приемника «Алмаз». Можно также использовать аналогичные блоки КПЕ от приемников «Сокол», «Старт-2», «Космонавт». Катушки L5—L10 усилителя ПЧ — трансформаторы фильтров промежуточной частоты транзисторного приемника «Соната». Их намоточные данные: L6, L7 и L9 — по 99 витков провода ЛЭ 5 × 0,06. Катушки намотаны тремя секциями (по 33 витка в каждой) на унифицированных каркасах, помещенных в чашки из феррита марки 600НН диаметром 8,6 мм. Катушки L5, L8, L10 содержат по 30 витков (три секции по 10 витков), намотанных проводом ПЭЛШО 0,1 поверх соответствующих им контурных катушек L6, L7 и L9. Вообще же можно использовать трансформаторы промежуточной частоты от любого другого промышленного малогабаритного транзисторного супергетеродина. Надо только в контуры включить конденсаторы C7, C9, C15 соответствующих емкостей. В контуры промежуточной частоты приемника «Сокол-2», например, катушки которых содержат меньше витков, чем катушки контуров приемника «Соната», надо включить конденсаторы емкостью по 1000 пФ.

Гетеродинная катушка L4 намотана на таком же каркасе, что и катушки контуров промежуточной частоты, и содержит 100 витков провода ПЭВ-1 0,1. Отвод сделан от 15-го витка, считая от нижнего (по схеме) вывода. Катушка L3 имеет четыре витка такого же провода.

Катушки L1 и L2 намотаны на отдельных каркасах, размещенных на стержне из феррита марки 400НН диаметром 8 и длиной 120 мм. Катушка L1 содержит 75 витков, L2 — 8 витков провода ПЭВ-1 0,12. Ферритовый стержень укреплен на плате нитками, под концы стержня подложены амортизирующие резинки. Все оксидные конденсаторы типа К50-6, остальные конденсаторы постоянной емкости — КТ, КЛС; резисторы — МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5; переменный резистор R10, объединенный с выключателем питания SA1, — СП3-3б.

Статический коэффициент передачи тока транзисторов VT1 и VT2 должен быть не менее 50. Транзисторы желательно подобрать с возможно близкими параметрами $h_{21э}$ и $I_{КБО}$.

Микросхемы серии К224 имеют по девять гибких выводов шириной 0,5 и длиной 7 мм, расположенных на расстоянии 2,5 мм. Выводы надо осторожно изогнуть, пропустить через отверстия, просверленные в плате в шахматном порядке, и снизу припаять к токонесущим проводникам платы. Расстояние между рядами отверстий может быть 4...5 мм, между центрами отверстий в рядах 5 мм. Неиспользуемые выводы (например, выводы 4 и 5 микросхем DA1 и DA2) можно отогнуть в сторону и отверстий для них не сверлить.

Источником питания может быть батарея «Крона» или аккумуляторная батарея 7Д-0,1. Можно, конечно, питать приемник и от двух соединенных последовательно батарей 3336, но в этом случае придется значительно увеличить размеры корпуса приемника.

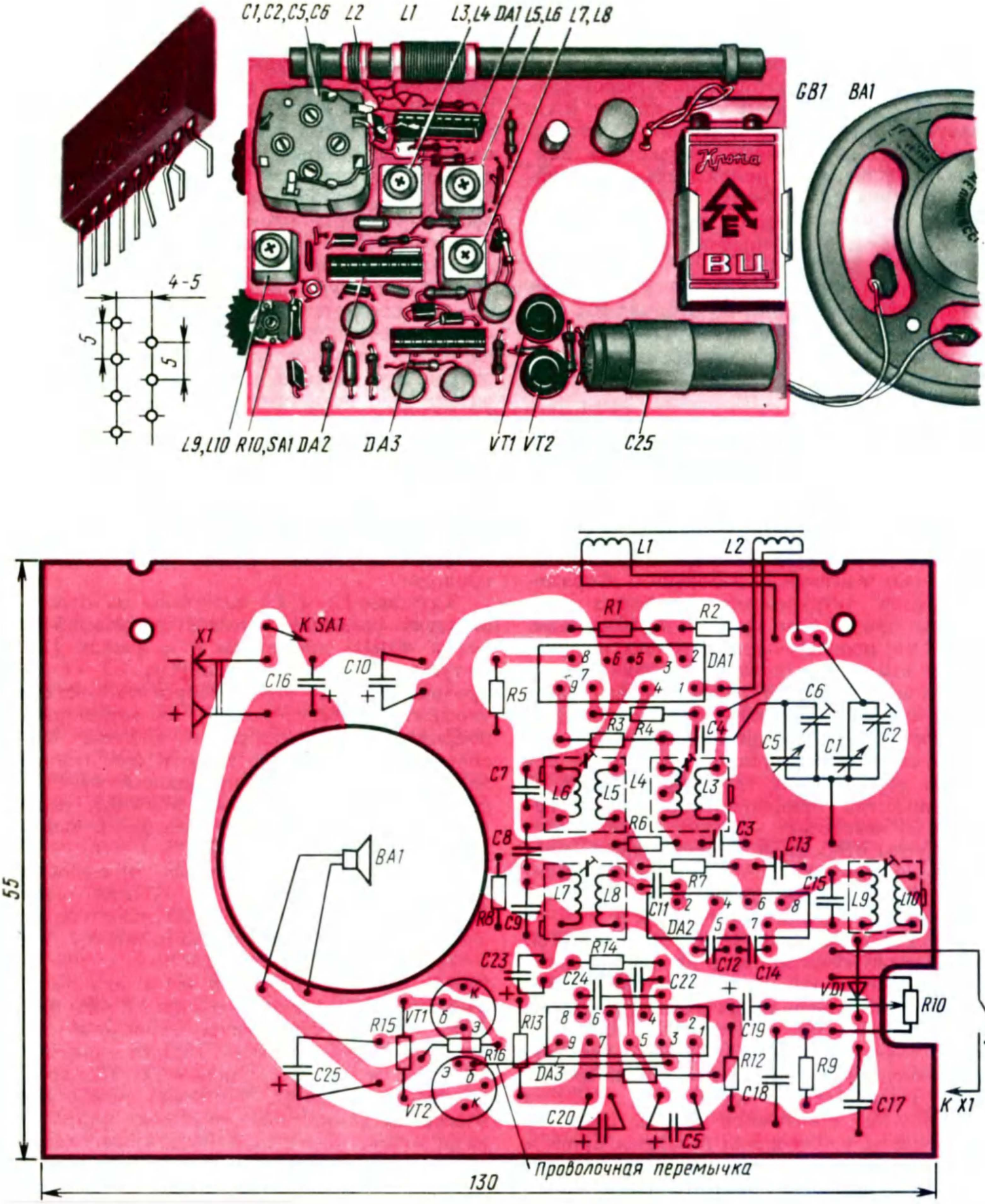

C1,C2,C5,C6
L2
L1
L3,L4
DA1
L5,L6
L7,L8
GB1
BA1
4-5
5
5
L9,L10
R10,SA1
DA2
DA3
VT1
VT2
C25
L1
L2
R1
R2
K SA1
X1
C16
C10
DA1
R5
C6
R3
R4
C4
C5
C1
C2
C7
L6
L5
L4
L3
R6
C3
C8
C13
R7
C15
L9
L10
BA1
R8
C9
L7
L8
C11
DA2
C12
C14
R14
C23
C24
C22
VD1
R10
R15
VT1
R13
R16
DA3
C19
R12
R9
SA1
C25
VT2
C18
C17
K X1
C20
C5
55
130
Проволочная перемычка

Рис. 244. Монтаж деталей, разметка токонесущих проводников печатной платы и схема соединений на ней

В твоем распоряжении может не оказаться именно тех деталей, под которые рассчитана печатная плата приемника. Поэтому подобранные и проверенные детали размести в рекомендуемом порядке на листе бумаги и с учетом их конструкций произведи соответствующую корректировку печатных проводников платы. Если нет фольгированного материала, соединения деталей на плате, изготовленной из листового гетинакса или текстолита такой же толщины, делай отрезками монтажного провода.

При любом виде монтажа особое внимание уделяй правильности соединения выводов микросхем и транзисторов с другими деталями и полярности включения оксидных конденсаторов. Испытать и предварительно наладить приемник желательно на макетной панели, что избавит тебя от лишних перепаек, смен деталей, причем делать это можно раздельно, по трактам.

Убедившись в том, что в монтаже ошибок нет, к контактам выключателя питания подключи миллиамперметр и таким образом измерь общий ток, потребляемый приемником от батареи. Он не должен быть больше 15...20 мА. Ток коллекторной цепи транзисторов VT1 и VT2, соответствующий 5...6 мА, устанавливай подбором резистора R15, а напряжение 4,5 В в точке симметрии выходного каскада — подбором резистора R11. Напомню: при замене резистора R15 источник питания обязательно должен быть выключен, иначе может произойти тепловой пробой транзисторов выходного каскада.

Проверить работу усилителя ЗЧ приемника можно с помощью генератора звуковой частоты или путем воспроизведения грамзаписи. Выход генератора или звукосниматель подключай к крайним выводам резистора R10, предварительно отключив от него резистор R9 и конденсатор C18. При подаче сигнала генератора или при проигрывании грампластинки звук в динамической головке должен быть достаточно громким, неискаженным и плавно изменяться при вращении диска переменного резистора R10. Если при слабом входном сигнале появляются заметные на слух искажения, устраняй их увеличением сопротивления резистора R15.

Микросхема DA2 подгонки режимов работы ее транзисторов не требует. Надо только проверить, подается ли напряжение (около 6,5 В) на ее вывод 6.

Напряжение на выводе 2 микросхемы DA1, равное 3...3,2 В, устанавливай подбором резистора R1. Затем резистор R5 в базовой цепи транзистора гетеродина замени переменным резистором на 100...150 кОм и постепенно уменьшай его сопротивление до появления в головке (или головных телефонах, подключенных к резистору R10) звука, напоминающего щелчок. Этот звук — признак порога возбуждения гетеродина. Сопротивление резистора R5 должно быть на 15...20 кОм меньше сопротивления введенной части временно включенного вместо него переменного резистора. Дополнительно генерацию гетеродина можно проверять с помощью миллиамперметра, включив его между резистором R6 и плюсовым проводником источника питания. При замыкании выводов катушки L4 контура гетеродина, когда генерация срывается, миллиамперметр должен показывать возрастающий ток.

После этого приемник настрой на какую-либо радиостанцию и подстройкой контуров промежуточной частоты, начиная с контура L9C15, добейся наибольшей громкости приема этой станции.

Сопряжение гетеродинного и входного контуров делай, как об этом я ранее рассказывал, применительно к первому варианту супергетеродина. Роторы блока конденсаторов C1, C5 установи в положение, близкое к их максимальной емкости, и только подстроечным сердечником гетеродинной катушки L4 настраивай приемник на одну из радиостанций низкочастотного участка диапазона. Затем, не изменяя положения роторов блока КПЕ, перемещением только катушки L1 по ферритовому стержню добейся наибольшей громкости приема той же станции. После этого роторы блока КПЕ установи в положение, близкое к минимальной емкости, подстроечным конденсатором C6 гетеродинного контура настрой приемник на одну из станций высокочастотного участка диапазона, а затем подстроечным конденсатором C2 контура магнитной антенны добивайся наибольшей громкости приема этой же станции.

Конструкцию корпуса приемника ты, надеюсь, сможешь разработать самостоятельно, по своему вкусу.

СУПЕРГЕТЕРОДИН IV КЛАССА

А теперь, юный друг, хочу познакомить тебя со схемотехникой, работой и некоторыми особенностями транзисторных супергетеродинов IV класса, разнообразие которых мы видим в витринах магазинов радиотоваров. Приемник такого класса может быть в твоем доме, у родных и близких тебе людей. И если ты, теперь уже не начинающий радиолюбитель, будешь хотя бы в общих чертах знаком с подобным приемником, то в случае необходимости сумеешь найти и устранить появившуюся в нем неисправность и таким образом продлить ему работоспособную «жизнь».

К супергетеродинам IV класса относятся все дешевые приемники с питанием от батарей, обеспечивающие прием радиовещательных станций диапазонов длинных и средних волн. Это наиболее простые супергетеродины, содержащие

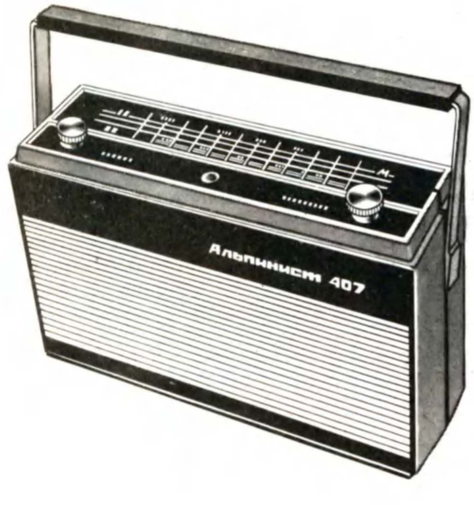

Альпинист 407

Рис. 245. Приемник «Альпинист-407»

обычно преобразователь частоты с совмещенным гетеродином, два каскада усиления колебаний ПЧ и трехкаскадный усилитель колебаний ЗЧ с трансформаторным или бестрансформаторным выходом. Промежуточная частота 465 кГц. Выходная мощность, зависящая от транзисторов, используемых в оконечном каскаде усилителя ЗЧ, может быть от 120...150 мВт до 0,5 Вт.

Характерным представителем огромной «семьи» транзисторных супергетеродинов этого класса может служить «Альпинист-407». Внешний вид этого приемника показан на рис. 245, а его принципиальная схема — на рис. 246. Цифра 4 в названии говорит о том, что он относится к приемникам IV класса, а цифра 7 — порядковый номер модификации. Как и другие подобные приемники, он двухдиапазонный: в диапазоне СВ перекрывает волны длиной от 186,9 до 571,4 м, в диапазоне ДВ — от 740,7 до 2000 м. Для улучшения приема отдаленных радиовещательных станций предусмотрена возможность подключения внешней антенны (гнездо X1) и заземления (гнездо X4). Номинальная выходная мощность 0,5 Вт.

Питать приемник можно от батареи напряжением 9 В, составленной из соединенных последовательно двух батарей 3336, шести

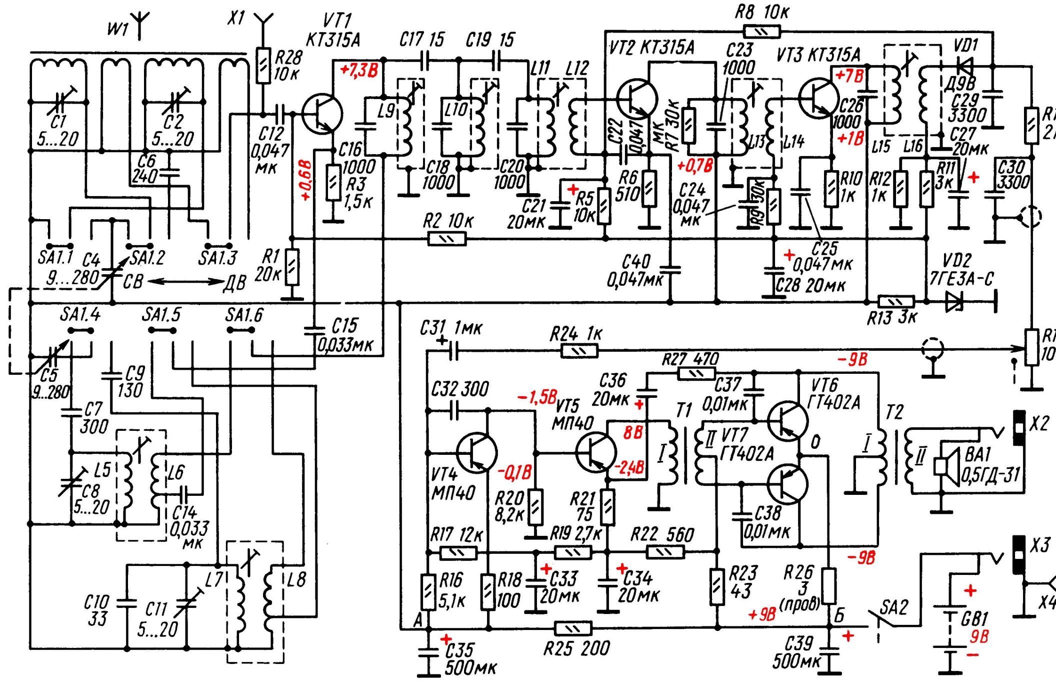

W1
X1
VT1 КТ315А
R28 10к
+7,3В
C12 0,047 мк
+0,6В
C16 1000
R3 1,5к
C17 15
C19 15
L9
L10
C18 1000
L11 L12
C20 1000
C21 20мк
R2 10к
R8 10к
VT2 КТ315А
C22 0,047 мк
R7 30к
R6 510
R5 10к
+0,7В
C23 1000
C24 0,047 мк
C40 0,047мк
VT3 КТ315А
+7В
C26 1000
+1В
L13 L14
R9 30к
R10 1к
C25 0,047мк
C28 20мк
L15 L16
VD1 Д9В
C29 3300
C27 20мк
R12 1к
R11 3к
C30 3300
R14 2к
VD2 7ГЕ3А-С
R13 3к
R15 10к
C1 5...20
C2 5...20
C6 240
SA1.1
C4 9...280
SA1.2
SA1.3
СВ ДВ
R1 20к
SA1.4
SA1.5
SA1.6
C15 0,033мк
C5 9...280
C9 130
C7 300
L5
L6
C8 5...20
C14 0,033 мк
C10 33
C11 5...20
L7
L8
C31 1мк
R24 1к
R27 470
-9В
C32 300
-1,5В
VT5 МП40
C36 20мк
C37 0,01мк
T1
VT6 ГТ402А
T2
X2
VT4 МП40
-0,1В
8В
-2,4В
VT7 ГТ402А
0
BA1 0,5ГД-31
R20 8,2к
R21 75
C38 0,01мк
R17 12к
R19 2,7к
R22 560
-9В
X3
R16 5,1к
R18 100
C33 20мк
C34 20мк
R23 43
R26 3 (пров)
+9В
SA2
GB1 9В
X4
А
Б
C35 500мк
R25 200
C39 500мк

Рис. 246. Принципиальная схема приемника «Альпинист-407»

элементов 343 или внешнего источника, например сетевого блока питания с таким же выходным напряжением постоянного тока. Внешний источник подключают к приемнику через гнездо X3, при этом внутренняя батарея GB1 автоматически отключается.

Многое в приемнике «Альпинист-407» тебе уже знакомо по этой и предыдущим беседам, поэтому назначение деталей и его работу рассмотрим обзорно, останавливаясь лишь на наиболее характерных особенностях.

Показанное на схеме положение контактов секций SA1.1—SA1.6 переключателя SA1 соответствует включению диапазона СВ. В это время входной контур приемника образуют катушка L1 магнитной антенны W1, конденсатор переменной емкости C4 и подстроечный конденсатор C1, а контур гетеродина — катушка L5, конденсатор переменной емкости C5, подстроечный конденсатор C8 и сопрягающий конденсатор C7. С контуром гетеродина индуктивно связана катушка L6, частично включенная (через конденсатор C14, секцию SA1.5 переключателя диапазонов и конденсатор C15) в эмиттерную цепь транзистора VT1. Эта часть катушки L6 является для контура гетеродина катушкой положительной обратной связи по переменному току, благодаря которой гетеродин возбуждается и генерирует колебания высокой частоты. Сигнал радиостанции диапазона СВ, на частоту которой настроен входной контур, подается через катушку связи L2, секцию SA1.3 переключателя и конденсатор C12 на базу транзистора VT1, а сигнал гетеродина — в цепь эмиттера этого же транзистора.

При приеме радиостанций диапазона ДВ входной контур образуют катушка L3 и конденсаторы C4, C2, а контур гетеродина — катушка L7 и конденсаторы C5, C9—C11. В этом случае сигнал радиостанции подается на базу транзистора VT1 через катушку связи L4, секцию SA1.3 и конденсатор C12, а сигнал гетеродина в эмиттерную цепь транзистора — через конденсатор C15, секцию SA1.5 и нижнюю (по схеме) часть катушки L8. Таким образом, конденсаторы переменной емкости C4 и C5 являются общими элементами настройки входного и гетеродинного контуров обоих диапазонов приемника. Конденсаторы C12 и C15, также общие в цепях связи, не влияют на настройку контуров, а лишь преграждают путь постоянным составляющим электродов транзистора на общий провод цепей питания.

Сопряжение настроек гетеродинного и входного контуров осуществляется: в диапазоне СВ — подстроечным сердечником катушки L5 и конденсаторами C8, C1, в диапазоне ДВ — подстроечным сердечником катушки L7 и конденсаторами C11, C2.

В результате одновременного воздействия на транзистор VT1 модулированных колебаний радиочастоты и сигнала гетеродина, в его коллекторной цепи возникают колебания промежуточной частоты 465 кГц. Через контуры L9C16, L10C18, L11C20, образующие совместно с конденсаторами C17 и C19 полосовой фильтр сосредоточенной селекции (ФСС), и катушку связи L12 колебания промежуточной частоты поступают на базу транзистора VT2 первого каскада усилителя ПЧ. В коллекторную цепь этого транзистора включен контур L13C23, улучшающий селективные свойства усилителя ПЧ. Далее колебания промежуточной частоты поступают (через катушку связи L14) на базу транзистора VT3 второго каскада, усиливаются им, выделяются коллекторным контуром L15C26 и через катушку связи L16 поступают на вход детекторного каскада на диоде VD8.

Детекторный каскад и трехкаскадный усилитель звуковой частоты (транзисторы VT4—VT7) «Альпинист-407» отличаются от подобных устройств любительских и супергетеродинов IV класса в основном лишь способом осуществления АРУ и использованием в двухтактном оконечном каскаде транзисторов средней мощности (серии ГТ402) с целью повышения выходной мощности. Что же касается цепей питания транзисторов «Альпинист-407» по постоянному току, то они значительно отличаются от подобных цепей аналогичных приемников, что объясняется использованием в его трактах транзисторов разных структур.

Рассмотрим несколько подробнее цепи питания транзисторов «Альпинист-407». В нем батарея питания GB1 отрицательным полюсом соединена с «заземленным» проводником, который является общим отрицательным только для n-p-n транзисторов VT1—VT3 радиочастотного тракта. Положительное напряжение на коллекторы транзисторов VT2 и VT3 этого тракта подается через развязывающий фильтр, образующийся резистором R25 и оксидным конденсатором C35, и соответствующие им катушки L13 и L15 контуров ПЧ, а на коллектор транзистора VT1, кроме того, — через катушки связи гетеродинных контуров и контакты секции SA1.6 переключателя диапазонов. Резистор R13 и стабистор VD2 образуют параметрический стабилизатор напряжения, стабилизирующий начальные напряжения смещения на базах транзисторов радиочастотного тракта. На базу транзистора VT1 оно подается через резистор R2, на базу транзистора VT2 — через развязывающий фильтр R5C21 и катушку L12, на базу транзистора VT3 — через фильтр R9C24 и катушку L14. Стабилизатор напряжения улучшает условия работы транзисторов радиочастотного тракта при частично разрядившейся батареи питания.

Для p-n-p транзисторов VT4—VT7 усилителя ЗЧ общим является плюсовой проводник источника питания. Отрицательные напряжения на их электроды подаются с «заземленного» проводника источника питания: на коллектор транзистора VT4 и базу транзистора VT5 через резистор R20, на коллектор транзистора VT5 — через первичную (I) обмотку межкаскадного трансформатора T1, на коллекторы транзисторов VT6 и VT7 — через соответствующие им секции обмотки I выходного трансформатора T2. Резисторы R21—R23 в эмиттерной цепи транзистора VT5 образуют делитель, с которого снимаются и подаются напряжения смещения на базы транзисторов VT6 и VT7 (через секции обмотки II трансформатора T1) и базу транзистора VT4 (через резисторы R19 и R17) первого каскада усилителя ЗЧ. Оксидные конденсаторы C33 и C34 в этой цепи устраняют отрицательную обратную связь по переменному току, снижающую усиление в этом тракте приемника. Конденсатор C39 шунтирует батарею GB1 по переменному току и тем самым предотвращает возбуждение приемника из-за возможных паразитных связей между его каскадами и трактами через общий источник питания.

Принципиальные схемы многих других массовых транзисторных супергетеродинов, в том числе моделей последних лет, во многом схожи со схемой приемника «Альпинист-407». Разница между приемниками этого класса заключается в основном в используемых в них транзисторах и построении усилителей ЗЧ. Взять, к примеру, приемник «Сокол-404». В его радиочастотном тракте работают транзисторы серии ГТ309, а в усилителе ЗЧ, построенном по бестрансформаторной схеме (он подобен усилителю ЗЧ супергетеродина по схеме на рис. 237), — транзисторы серий МП40, КТ315, МП41 и МП38. Принципиальная схема приемника «Кварц-408» аналогична «Альпинисту-407», но все семь транзисторов, работающих в нем, серии КТ315. В приемнике «Селга-405», схема которого несколько отличается от схем «Альпиниста-407» и «Кварца-408», пять транзисторов (из семи) кремниевые серии КТ315 и два (в выходном двухтактном каскаде усилителя ЗЧ) — германиевые серии МП41. В целом же супергетеродины IV класса можно считать «приемниками-близнецами», отличающимися один от другого в основном лишь конструктивным оформлением.

Детали «Альпиниста-407» размещены и смонтированы в корпусе значительно больших размеров (260 × 180 × 98 мм), чем малогабаритные («карманные») приемники, поэтому и монтаж его свободнее, проще разобраться в нем, найти и устранить неисправности. Сам корпус, изготовленный из ударопрочного полистирола, состоит из передней и задней стенок (на рис. 247 задняя стенка снята), скрепленных двумя винтами, и нижнего основания с отсеком для батареи питания. Шкалу, являющуюся верхней стенкой, устанавливают при сборке корпуса в специальные пазы в передней и задней стенках.

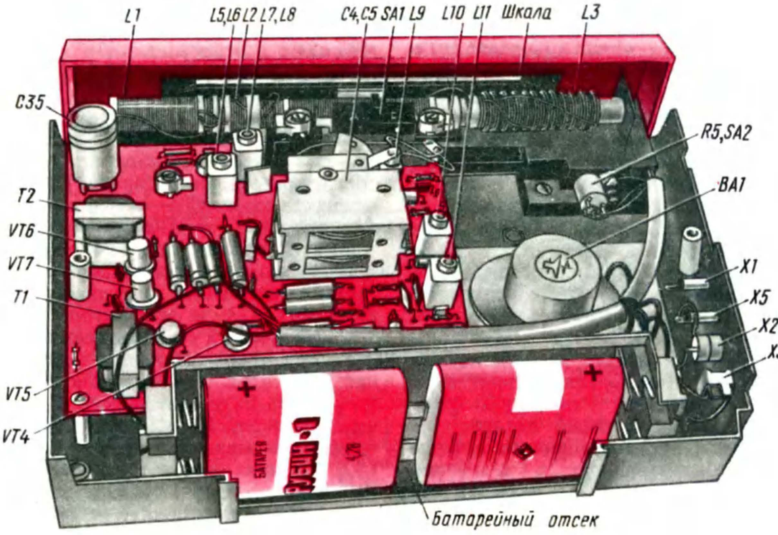


Рис. 247. Размещение деталей в корпусе

Ручки настройки приемника (блок КПЕ) и регулятора громкости (R15) с выключателем питания (SA2) расположены сверху на шкале и имеют соответствующие символические обозначения. Гнезда для подключения внешней антенны (X1), малогабаритного телефона ТМ-4 (X2), внешнего источника питания (X3) и заземления (X4) находятся на одной общей пластмассовой пластине, которая удерживается в пазах передней и задней стенок корпуса. Внутри корпуса на передней стенке закреплена динамическая головка (BA1), а на задней — печатная плата, на которой смонтированы все остальные детали приемника. На противоположной стороне платы размещено верньерное устройство настройки приемника.

За исходный элемент при знакомстве с монтажом можно принять переключатель диапазонов SA1, смонтированный непосредственно на плате рядом с магнитной антенной. Слева от него (если на плату смотреть сверху) сгруппированы детали гетеродина, а справа и далее (по движению часовой стрелки), как бы огибая блок КПЕ,— детали смесительной части преобразователя частоты, усилителя ПЧ и т. д. Замыкают такой круг деталей трансформаторы и транзисторы усилителя ЗЧ и оксидный конденсатор С35 развязывающего фильтра в цепи питания.

Знакомые тебе принцип и способы испытания и проверки работоспособности любительских усилителей ЗЧ, приемников прямого усиления и супергетеродинов приемлемы и для поиска неисправностей в «Альпинисте-407». Надо только, пользуясь измерительными приборами или пробниками, не забывать, что в его трактах работают транзисторы разных структур и общие проводники цепей питания транзисторов этих трактов тоже разные. В частности, напряжения на электродах транзисторов VT1 — VT3 радиочастотного тракта измеряй относительно «заземленного» проводника приемника, на электродах транзистора VT4 первого каскада усилителя ЗЧ — относительно точки, обозначенной на схеме буквой А, транзисторов VT5 — VT7 — относительно точки Б. Неполадки отыскивай в том каскаде, напряжения в цепях которого не соответствуют указанным на принципиальной схеме приемника.

К любому промышленному приемнику прилагается руководство по его эксплуатации. В нем есть также принципиальная и монтажная схемы, пользуясь которыми радиолюбителю несложно изучить приемник и определить пути поиска и устранения неисправностей в нем.

* * *

На этом я заканчиваю наши беседы, посвящаемые радиовещательным приемникам.

БЕСЕДА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

О МУЛЬТИВИБРАТОРЕ И ЕГО «ПРОФЕССИЯХ»

Мультивибраторами называют электронные устройства, генерирующие электрические колебания, близкие по форме к прямоугольной. Спектр колебаний, генерируемых мультивибратором, содержит множество гармоник — тоже электрических колебаний, но кратных колебаниям основной частоты, что и отражено в его названии: «мульти» — много, «вибро» — колеблю. Именно такой генератор я рекомендовал тебе в седьмой беседе использовать в качестве источника электрических сигналов при испытании и проверке работоспособности усилителей 3Ч, радиоприемников.

В девятой беседе, посвященной первому знакомству с микросхемами, ты уже имел дело с мультивибраторами на логических элементах 2И-НЕ. В их числе были, например, генератор световых импульсов, простейший ЭМИ. С подобными генераторами ты еще столкнешься неоднократно при конструировании приборов и устройств на цифровых микросхемах. Эту же беседу я решил посвятить транзисторному мультивибратору и возможному применению его в различных бытовых и занимательных электронных устройствах.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР И ЕГО РАБОТА

Рассмотрим схему, показанную на рис. 248, *а*. Узнаешь? Да, это схема двухкаскадного транзисторного усилителя 3Ч с выходом на головные телефоны. Что произойдет, если выход такого усилителя соединить с его входом, как на схеме показано штриховой линией? Между выходом и входом усилителя возникает положительная обратная связь, и он самовозбуждается — становится генератором колебаний звуковой частоты, и в телефонах мы слышим звук низкого тона. С таким явлением в приемниках и усилителях ведут решительную борьбу,

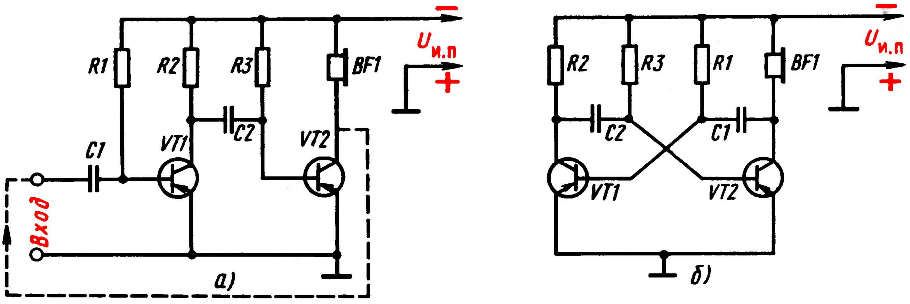


Рис. 248. Двухкаскадный усилитель, охваченный положительной обратной связью, становится мультивибратором

а вот для автоматически действующих устройств оно оказывается полезным.

Теперь посмотри на рис. 248, *б*. На нем ты видишь схему того же усилителя, охваченного положительной обратной связью, как на рис. 248, *а*, только начертание ее несколько изменено. Именно так обычно чертят схемы автоколебательных, т. е. самовозбуждающихся, мультивибраторов.

Опыт — самый лучший, пожалуй, метод познания сущности действия того или иного электронного устройства. В этом ты убеждался не раз. Вот и сейчас, чтобы лучше разобраться в работе этого универсального прибора-автомата, предлагаю провести опыт с ним.

Принципиальную схему автоколебательного мультивибратора со всеми данными его резисторов и конденсаторов ты видишь на рис. 249, *а*. Смонтируй его на макетной панели. Транзисторы должны быть низкочастотными, например серий МП39 — МП42 (высокочастотные транзисторы применять не следует — могут выйти из строя, так как у них мало́ пробивное напряжение эмиттерного перехода). Оксидные конденсаторы С1 и С2 — типа К50-6 или К53-1 на номинальное напряжение 10 В. Сопротивления резисторов могут отличаться от указанных на схеме до 50%. Важно лишь, чтобы возможно одинаковыми были номиналы нагрузочных резисторов R1, R4 и базовых резисторов R2, R3. Для питания используй две последовательно соединенные батареи 3336 или выпрямитель.

В коллекторную цепь любого из транзисторов включи миллиамперметр (РА) на ток 10...15 мА, а к участку эмиттер — коллектор того же транзистора подключи высокоомный вольтметр постоянного тока (PU) на напряжение до 10 В. Проверив монтаж и особенно внимательно полярность включения оксидных конденсаторов, подключи к мультивибратору источник питания. Что показывают измерительные приборы? Миллиамперметр — резко увеличивающийся до 8...10 мА, а затем также резко уменьшающийся почти до нуля ток коллекторной цепи транзистора. Вольтметр же, наоборот, то уменьшающееся почти до нуля,

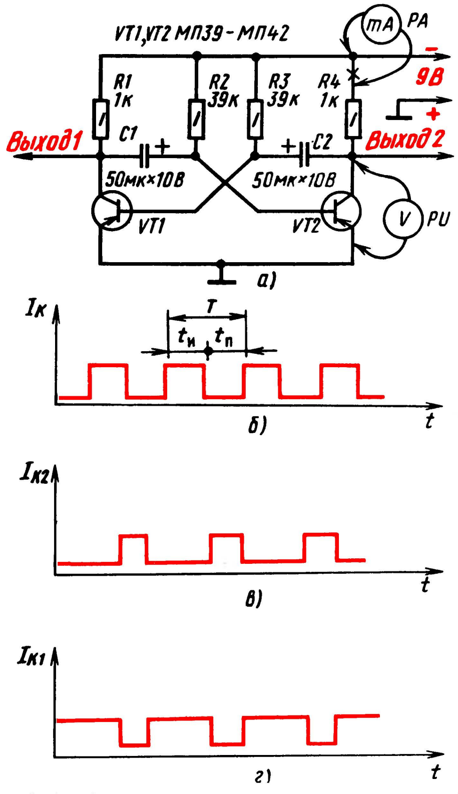


Рис. 249. Схема симметричного мультивибратора и генерируемые им электрические импульсы

то увеличивающееся до напряжения источника питания коллекторное напряжение.

О чем говорят эти измерения? О том, что транзистор этого плеча мультивибратора работает в режиме переключения. Наибольший коллекторный ток и одновременно наименьшее напряжение на коллекторе соответствуют открытому состоянию, а наименьший ток и наибольшее коллекторное напряжение — закрытому состоянию транзистора. Точно так работает и транзистор второго плеча мультивибратора, но, как говорят, со сдвигом фазы на 180°: когда один из транзисторов открыт, второй закрыт. В этом нетрудно убедиться, включив в коллекторную цепь транзистора второго плеча мультивибратора такой же миллиамперметр; стрелки измерительных приборов будут попеременно отклоняться от нулевых отметок шкал.

Теперь, воспользовавшись часами с секундной стрелкой, сосчитай, сколько раз в минуту транзисторы переходят из открытого состояния в закрытое. Примерно раз 15...20. Таково число электрических колебаний, генерируемых мультивибратором в минуту. Следовательно, период одного колебания равен 3...4 с. Продолжая следить за стрелкой миллиамперметра, попытайся изобразить эти колебания графически. По горизонтальной оси ординат откладывай в некотором масштабе отрезки времени нахождения транзистора в открытом и закрытом состояниях, а по вертикальной — соответствующий этим состояниям коллекторный ток. У тебя получится примерно такой же график, как тот, что изображен на рис. 249, *б*. Значит, можно считать, что мультивибратор генерирует электрические колебания прямоугольной формы.

В сигнале мультивибратора независимо от того, с какого выхода он снимается, можно выделить импульсы тока и паузы между ними. Интервал времени с момента появления одного импульса тока (или напряжения) до момента появления следующего импульса той же полярности принято называть периодом следования импульсов T, а время между импульсами — длительностью паузы $t_п$. Мультивибраторы, генерирующие импульсы, длительность $t_и$ которых равна паузам между ними, называют симметричными. Следовательно, собранный тобой опытный мультивибратор — симметричный.

Замени конденсаторы C1 и C2 другими конденсаторами емкостью по 10...15 мкФ. Мультивибратор остался симметричным, но частота генерируемых им колебаний увеличилась в 3...4 раза — до 60...80 в 1 мин или, что то же самое, примерно до частоты 1 Гц.

Стрелки измерительных приборов еле успевают следовать за изменениями токов и напряжений в цепях транзисторов. А если конденсаторы C1 и C2 заменить бумажными емкостью по 0,01...0,05 мкФ? Как теперь будут вести себя стрелки измерительных приборов? Отклонившись от нулевых отметок шкал, они стоят на месте. Может быть, сорвана генерация? Нет! Просто частота колебаний мультивибратора увеличилась до нескольких сотен герц. Это колебания диапазона звуковой частоты, фиксировать которые приборы постоянного тока уже не могут. Обнаружить их можно с помощью частотомера или головных телефонов, подключенных через конденсатор емкостью 0,01...0,05 мкФ к любому из выходов мультивибратора или включив их непосредственно в коллекторную цепь любого из транзисторов вместо нагрузочного резистора. В телефонах услышишь звук низкого тона.

Каков принцип работы мультивибратора? Вернемся к схеме на рис. 249, *а*. В момент включения питания транзисторы обоих плеч мультивибратора открываются, так как на их базы через соответствующие им резисторы R2 и R3 подаются отрицательные напряжения смещения. Одновременно начинают заряжаться конденсаторы связи: C1 — через эмиттерный переход транзистора VT2 и резистор R1; C2 — через эмиттерный переход транзистора VT1 и резистор R4. Эти цепи зарядки конденсаторов, являясь делителями напряжения источника питания, создают на базах транзисторов (относительно эмиттеров) все возрастающие по значению отрицательные напряжения, стремящиеся все больше открыть транзисторы. Открывание транзистора вызывает снижение отрицательного напряжения на его коллекторе, что ведет к снижению отрицательного напряжения на базе другого транзистора, закрывая его. Такой процесс протекает сразу в обоих транзисторах, однако закрывается только один из них, на базе которого более высокое положительное напряжение, например, из-за разницы коэффициентов передачи токов $h_{21э}$, номиналов резисторов и конденсаторов. Второй транзистор остается открытым. Но эти состояния транзисторов неустойчивы, ибо электрические процессы в их цепях продолжаются.

Допустим, что через некоторое время после включения питания закрытым оказался транзистор VT2, а открытым — транзистор VT1. С этого момента конденсатор C1 начинает разряжаться через открытый транзистор VT1, сопротивление участка эмиттер — коллектор которого в это время мало, и резистор R2. По мере разрядки конденсатора C1 положительное напряжение на базе закрытого транзистора VT2 уменьшается. Как только конденсатор полностью разрядится и напряжение на базе транзистора VT2 станет близким к нулю, в коллекторной цепи этого, теперь уже открывающегося транзистора появляется ток, который воздействует через конденсатор C2 на базу транзистора VT1 и понижает отрицательное напряжение на ней. В результате ток, текущий через транзистор VT1, начинает уменьшаться, а через транзистор VT2, наоборот, увеличиваться. Это приводит к тому, что транзистор VT1 закрывается, а транзистор VT2 открывается. Теперь начнет разряжаться конденсатор C2, но через открытый транзистор VT2 и резистор R3, что в конечном итоге приводит к открыванию первого и закрыванию второго транзисторов, и т. д. Транзисторы все время взаимодействуют, в результате чего мультивибратор генерирует электрические колебания.

Частота колебаний мультивибратора зависит как от емкости конденсаторов связи, что тобой уже проверено, так и от сопротивления базовых резисторов, в чем ты можешь убедиться сейчас же. Попробуй, например, базовые резисторы R2 и R3 заменить резисторами больших сопротивлений. Частота колебаний мультивибратора уменьшится. И наоборот, если их сопротивления будут меньше, частота колебаний увеличится.

Еще один опыт: отключи верхние (по схеме) выводы резисторов R2 и R3 от минусового проводника источника питания, соедини их вместе, а между ними и минусовым проводником включи реостатом переменный резистор сопротивлением 30...50 кОм. Поворачивая ось переменного резистора, ты в довольно широких пределах сможешь изменять частоту колебаний мультивибраторов.

Примерную частоту колебаний симметричного мультивибратора можно подсчитать по такой упрощенной формуле: $f \approx 700/(RC)$, где f — частота в герцах; R — сопротивления базовых резисторов в килоомах; C — емкости конденсаторов связи в микрофарадах.

Пользуясь этой упрощенной формулой, подсчитай, колебания каких частот генерировал твой мультивибратор.

Вернемся к исходным данным резисторов и конденсаторов опытного мультивибратора (по схеме на рис. 249, *а*). Конденсатор C2 замени конденсатором емкостью 2...3 мкФ, в коллекторную цепь транзистора VT2 включи миллиамперметр и, следя за его стрелкой, изобрази графически колебания тока, генерируемые мультивибратором. Теперь ток в коллекторной цепи транзистора VT2 будет появляться более короткими, чем раньше, импульсами (рис. 249, *в*). Длительность импульсов $t_и$ будет примерно во столько же раз меньше пауз между импульсами $t_п$, во сколько уменьшилась емкость конденсатора C2 по сравнению с его прежней емкостью.

А теперь тот же (или такой) миллиамперметр включи в коллекторную цепь транзистора VT1. Что показывает измерительный прибор? Тоже импульсы тока, но их длительность значительно больше пауз между ними (рис. 249, *г*).

Что же произошло? Уменьшив емкость конденсатора C2, ты нарушил симметрию плеч мультивибратора — он стал несимметричным. Поэтому и колебания, генерируемые им, стали несимметричными: в коллекторной цепи транзистора VT1 ток появляется относительно длинными импульсами, в коллекторной цепи транзистора VT2 — короткими. С «Выхода 1» такого мультивибратора можно снимать короткие, а с «Выхода 2» — длинные импульсы напряжения. Временно поменяй местами конденсаторы C1 и C2. Теперь короткие импульсы напряжения будут на «Выходе 1», а длинные — «на Выходе 2».

Сосчитай (по часам с секундной стрелкой), сколько электрических импульсов в минуту генерирует такой вариант мультивибратора. Около 80. Увеличь емкость конденсатора C1, подключив параллельно ему второй оксидный конденсатор емкостью 20...30 мкФ. Частота следования импульсов уменьшится. А если, наоборот, емкость этого конденсатора уменьшать? Частота следования импульсов должна увеличиться.

Есть, однако, иной способ регулирования частоты следования импульсов — изменением сопротивления резистора R2: с уменьшением сопротивления этого резистора (но не менее чем до 3...5 кОм, иначе транзистор VT2 будет все время открыт и автоколебательный процесс нарушится) частота следования импульса должна возрастать, а с увеличением его сопротивления, наоборот, уменьшаться. Проверь опытным путем — так ли это? Подбери резистор такого номинала, чтобы число импульсов в 1 мин составляло точно 60. Стрелка миллиамперметра будет колебаться с частотой 1 Гц. Мультивибратор в этом случае станет как бы электронным механизмом часов, отсчитывающих секунды времени.

Применение симметричных и несимметричных мультивибраторов и их разновидностей очень и очень разнообразно. Я не ошибусь, если скажу, что нет такой области радиотехники, электроники, автоматики, телемеханики или вычислительной техники, где бы они не применялись. Широко применяют мультивибраторы и в практических делах радиолюбителей.

Вот несколько конкретных примеров.

ГЕНЕРАТОРЫ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Пробник. Если конденсаторы C1 и C2 мультивибратора, собранного по схеме на рис. 249, *а*, будут емкостью по 0,01...0,02 мкФ,

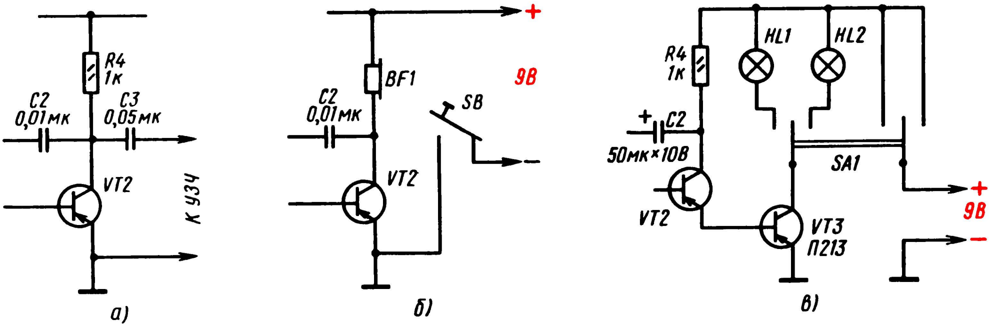


Рис. 250. Варианты использования мультивибратора

то он сможет выполнять функцию прибора для проверки работоспособности усилителя ЗЧ. Для этого надо лишь сигнал мультивибратора с любого его выхода подать через конденсатор емкостью 0,03...0,05 мкФ (на рис. 250 — C3) на вход усилителя. Если усилитель исправный, то в динамической головке или телефоне на его выходе будет слышен звук, соответствующий основной частоте мультивибратора. А так как колебания мультивибратора содержат множество гармоник, такой пробник, следовательно, можно использовать и для проверки высокочастотных трактов радиовещательных приемников. Да, именно такой имитатор электрических сигналов я и рекомендовал тебе в девятой беседе.

Такой же генератор колебаний звуковой частоты можно использовать и для индивидуальной тренировки по приему на слух и передаче знаков телеграфной азбуки. Для этого в цепь питания надо включить телеграфный ключ (рис. 250, *б*), а в коллекторную цепь любого из транзисторов — головные телефоны.

«Мигалка». К такому же мультивибратору, но с конденсаторами связи емкостью по 30...50 мкФ можно добавить усилитель тока на p-n-p транзисторе средней или большой мощности (серий ГТ402, ГТ403, П213 — П215, КТ814) и переключатель, с помощью которого в коллекторную цепь этого транзистора можно было бы включать лампочки накаливания (рис. 250, *в*). Та из лампочек, которая будет включена в коллекторную цепь транзистора, станет мигать с основной частотой мультивибратора. Такое устройство может стать указателем поворотов велосипеда, мопеда, мотоцикла. При напряжении источника питания 9 В лампочки «мигалки» могут быть типов МН6,3-0,3, МН6,5-0,34, КМ6-60.

Метроном. На транзисторах разной структуры и мощности можно собрать несимметричный мультивибратор и использовать его как метроном — прибор для выработки такта. Схему такого устройства ты видишь на рис. 251. Транзистор VT1 — маломощный структуры n-p-n, VT2 — большой мощности структуры p-n-p. В коллекторную цепь транзистора VT2 включены динамическая головка BA1 мощностью 0,5...1 Вт и лампочка накаливания HL1 МН2,5-0,15 или МН3,5-0,14. В моменты коротких импульсов, генерируемых мультивибратором, лампочка вспыхивает, а головка создает звуки, похожие на щелчки (удары). Частоту следования импульсов примерно от 20 до 200 в минуту можно устанавливать переменным резистором R1. Резистор R2 ограничивает ток базовой цепи транзистора VT1.

Монтируя такое устройство, не ошибитесь в полярности включения оксидного конденсатора C1: его вывод отрицательной обкладки должен соединяться с базой транзистора VT1, положительной — с коллектором транзистора VT2.

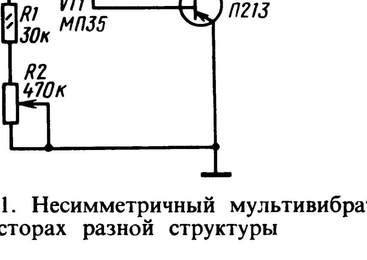


Рис. 251. Несимметричный мультивибратор на транзисторах разной структуры

Электронный звонок. Мультивибратор можно применить в качестве квартирного звонка, заменив им обычный электрический. Собрать же его можно по схеме, показанной на рис. 252. Транзисторы VT1 и VT2 работают в симметричном мультивибраторе, генерирующем колебания частотой около 1000 Гц, а транзистор VT3 - в усилителе мощности этих колебаний. Усиленные колебания преобразуются динамической головкой BA1 в звуковые колебания.

Если для звонка использовать абонентский громкоговоритель, включив первичную обмотку его переходного трансформатора в коллекторную цепь транзистора VT3, в его футляре разместится вся электроника звонка, смонтированная на плате. Там же разместится и батарея питания.

Электронный звонок установи в коридоре и соедини его двумя проводами с кнопкой SB1. Нажми кнопку — громкоговоритель звонит, отпусти кнопку — молчит. Так как питание на прибор подается только во время вызывных сигналов, двух батарей 3336, соединенных последовательно, хватит на несколько месяцев работы звонка.

Желательный тон звука устанавливай заменой конденсаторов C1 и C2 конденсаторами других емкостей.

Устройство, собранное по такой же схеме, может быть использовано и для группового изучения и тренировки в приеме на слух телеграфной азбуки. В этом случае надо только кнопку заменить телеграфным ключом.

Электронный коммутатор. Этот прибор, схема которого показана на рис. 253, можно использовать для коммутации двух елочных гирлянд, питающихся от сети переменного тока. Сам же электронный переключатель можно питать от двух батарей 3336, соединив их последовательно, или от выпрямителя, который бы давал на выходе постоянное напряжение 9...12 В.

Схема переключателя очень схожа со схемой электронного звонка. Но емкости конденсаторов C1 и C2 переключателя во много раз больше емкостей аналогичных конденсаторов звонка. Сам мультивибратор, в котором работают транзисторы VT1 и VT2, генерирует колебания частотой около 0,4 Гц, а нагрузкой его усилителя мощности (транзистор VT3 является обмотка электромагнитного реле K1. Реле имеет одну пару контактных пластин, работающих на переключение. Подойдет, например, реле РЭС-10 (паспорт РС4.524.302) или другое электромагнитное реле, надежно срабатывающее от напряжения 6...8 В при токе 20...50 мА.

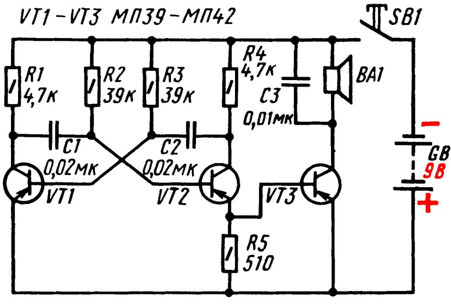


Рис. 252. Электронный звонок

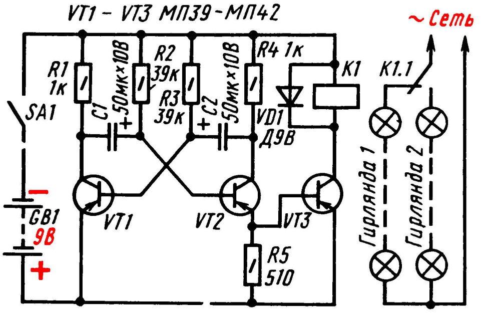


Рис. 253. Электронный коммутатор

При включении питания транзисторы VT1 и VT2 мультивибратора попеременно открываются и закрываются, генерируя сигналы прямоугольной формы. Когда транзистор VT2 открыт, отрицательное питающее напряжение через резистор R4 и этот транзистор подается на базу транзистора VT2, вводя его в насыщение. При этом сопротивление участка эмиттер — коллектор транзистора VT2 уменьшается до нескольких ом и почти все напряжение источника питания прикладывается к обмотке реле K1 — реле срабатывает и своими контактами подключает к сети одну из гирлянд. Когда транзистор VT2 закрыт, цепь питания базы транзистора VT2 разорвана и он также закрыт, через обмотку реле ток не течет. В это время реле отпускает якорь и его контакты, переключаясь, подключают к сети вторую елочную гирлянду.

Если ты захочешь изменить время переключения гирлянд, то заменяй конденсаторы C1 и C2 конденсаторами других емкостей. Данные резисторов R2 и R3 оставь прежними, иначе нарушится режим работы транзисторов по постоянному току.

Усилитель мощности, аналогичный усилителю на транзисторе VT3, можно включить и в эмиттерную цепь транзистора VT1 мультивибратора. В этом случае электромагнитные реле (в том числе — самодельные) могут иметь не переключающие группы контактов, а нормально замкнутые. Контакты реле одного из плеч мультивибратора будут периодически замыкать и размыкать цепь питания одной гирлянды, а контакты реле другого плеча мультивибратора — цепь питания второй гирлянды.

Электронный переключатель можно смонтировать на плате из гетинакса или другого изоляционного материала и вместе с батареей питания поместить в коробку из фанеры. Во время работы переключатель потребляет ток не больше 30 мА, так что энергии двух батарей 3336 вполне хватит на все новогодние праздники.

Аналогичный переключатель можно использовать и для других целей. Например, для иллюминации масок, атракционов. Представь себе выпиленную из фанеры и разрисованную фигурку героя сказки «Кот в сапогах». Позади прозрачных глаз находятся лампочки от карманного фонаря, коммутируемые электронным переключателем, а на самой фигурке — кнопка. Стоит нажать кнопку, как кот тут же начнет подмигивать тебе.

А разве нельзя использовать переключатель для электрификации некоторых моделей, например модели маяка? В этом случае в коллекторную цепь транзистора усилителя мощности можно вместо электромагнитного реле включить малогабаритную лампочку накаливания, рассчитанную на небольшой ток накала, которая станет имитировать вспышки маяка.

МУЛЬТИВИБРАТОР В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИГРУШКАХ И АТТРАКЦИОНАХ

Радиолюбители (и не только юные) широко используют мультивибраторы в различных радиотехнических играх и игрушках, аттракционах, сувенирах. Об этом, в частности, красноречиво говорят многие экспонаты сегодняшних школьников, демонстрирующиеся на различных выставках радиолюбительского творчества. Возле них, как правило, всегда людно.

Хочу рассказать о некоторых из таких забавных экспонатов, которые ты можешь повторить.

«Обиженный щенок». Из фанерного домика высовывается мордочка щенка. Стоит отобрать у него блюдце с костью, он начинает скулить. Забавно?

Электронную «начинку» этого аттракциона (рис. 254, *б*) образуют два взаимосвязанных мультивибратора и телефонный капсюль BF-1 (ДЭМ-4М). Мультивибратор на транзисторах VT3 и VT4 генерирует колебания звуковой частоты, а мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2 периодически включает (когда транзистор VT2 закрыт) и выключает (когда транзистор VT2 открыт) первый мультивибратор, что необходимо для имитации голоса недовольного щенка. Транзистор VT5 усиливает колебания звуковой частоты, которые телефон преобразует в звук. Его нагрузкой может быть также маломощная динамическая головка, включенная в коллекторную цепь через малогабаритный выходной трансформатор. Источником питания служат одна (4,5 В) или две соединенные последовательно (9 В) батареи 3336.

Для такого аттракциона можно использовать любые маломощные низкочастотные транзисторы, в том числе с малым коэффициентом передачи тока $h_{21э}$, а также резисторы и конденсаторы любых типов с номиналами, близкими к указанным на схеме.

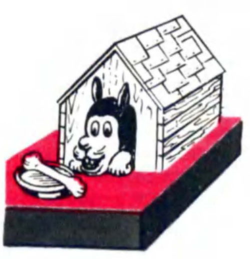
Проверку работоспособности устройства начинай с правого (по схеме) мультивибратора с усилителем, соединив верхний вывод резистора R6 непосредственно с минусовым проводником цепи питания и подключив батарею, минуя выключатель SA1. Если детали исправны и в монтаже ошибок нет, то в телефоне (или головке) будет слышен непрерывный однотонный звук. Если этого не произойдет, значит, есть ошибка в монтаже мультивибратора или в нем есть неисправные детали. Проверить работу только транзисторов VT3 и VT4 можно, подключив параллельно резистору R8 высокоомные телефоны. Если они звучат, то неисправность надо искать только в каскаде на транзисторе VT5.

Тон звука изменяй по своему вкусу подбором конденсаторов C3 и C4.

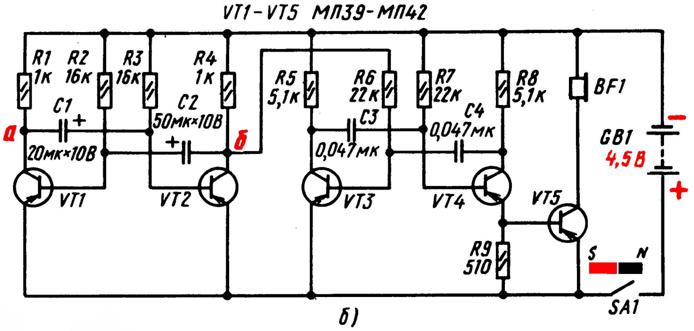
Убедившись в работоспособности этого мультивибратора, восстанови соединение резистора R6 с коллекторной цепью транзистора VT2 (на схеме — точка *б*) второго мультивибратора. Этот резистор можно подключить и к коллектору транзистора VT1 (на схеме — точка *а*). При этом соединении между паузами звучание телефона должно измениться.

Секрет этого аттракциона — магнитный выключатель питания SA1. Его конструкция показана на рис. 254, *г*. В жестяной обойме 1 находится пластинка 2, которая под действием собственной массы прижимается к контакту 3 выключателя. Правый конец пластинки 2 легко поднимается под действием поля постоянного магнита и размыкает цепь питания мультивибраторов. Если магнит убрать, пластинка упадет на контакт, замкнет цепь питания и щенок начнет скулить.

Детали самого выключателя находятся перед носом фигурки щенка и закрыты тонким гетинаксом 4. Магнит замаскирован в блюдце.

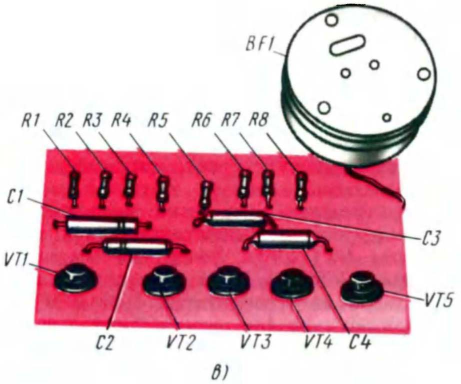


а)



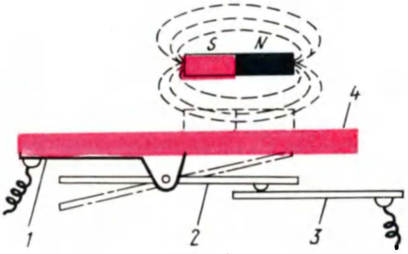
VT1-VT5 МП39-МП42
R1 1к
R2 16к
R3 16к
R4 1к
C1
20мк×10В
C2
50мк×10В
а
б
R5 5,1к
R6 22к
C3 0,047мк
R7 22к
C4 0,047мк
R8 5,1к
BF1
GB1 4,5В
VT1
VT2
VT3
VT4
VT5
R9 510
S
N
SA1

б)



BF1
R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7 R8
C1
C3
VT1
VT5
C2
VT2
VT3
VT4
C4

в)



г)

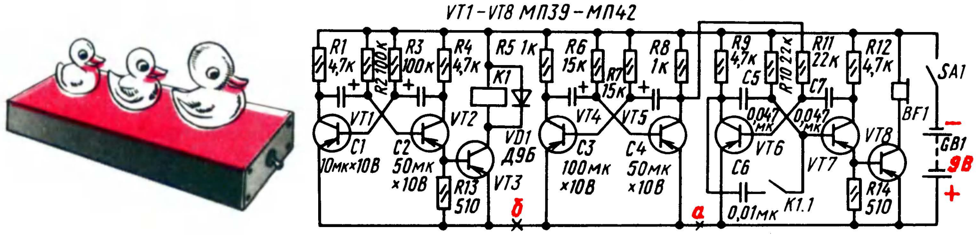
Рис. 254. Внешний вид (*а*), принципиальная схема (*б*), монтажная плата (*в*) и устройство магнитного выключателя (*г*) игры «Обиженный щенок»

Левый конец пластинки служит противовесом и облегчает работу магнита. Для уменьшения трения эта замыкающая пластинка свободно лежит на шпильке обоймы, не имея с ней механической связи.

В качестве выключателя питания можно использовать геркон — герметизированные контакты, замыкающиеся под действием магнитного поля. Он должен быть переключающего типа. С применением геркона «реакция» щенка несколько возрастет.

«Утка с утятами». На подставке, верхняя пластмассовая панель которой имитирует гладь воды, как бы плывут гуськом и перекликаются утка с утятами (рис. 255). Голос утки грубее, утят — нежнее.

Игрушка представляет собой три взаимно связанных мультивибратора. Симметричный мультивибратор на транзисторах VT6 и VT7, генерирующий колебания частотой 800...1000 Гц, является основным. А мультивибратор на транзисторах VT4 и VT5 — несимметричный. Генерируя короткие импульсы с паузами длительностью 2...2,5 с, он выполняет роль электронного выключателя, управляющего работой основного мультивибратора. Происходит это следующим образом. Во время пауз, когда транзистор VT5 закрыт и сопротивление



VT1-VT8 МП39-МП42
R1 4,7к
R2 100к
R3 100к
R4 4,7к
R5 1к
K1
R6 15к
R7 15к
R8 1к
R9 4,7к
R10 22к
R11 22к
R12 4,7к
SA1
VT1
VT2
C1 10мк×10В
C2 50мк×10В
VD1 Д9Б
VT3
R13 510
б
VT4
VT5
C3 100мк×10В
C4 50мк×10В
а
C5 0,047мк
C7 0,047мк
VT6
VT7
C6 0,01мк
K1.1
VT8
R14 510
BF1
GB1 9В

Рис. 255. Внешний вид и принципиальная схема игры «Утка с утятами»

его участка эмиттер-коллектор большое, верхний (по схеме) вывод резистора R11 в базовой цепи транзистора VT6 через резистор R8 соединен с минусовым проводом источника питания. В эти промежутки времени основной мультивибратор генерирует колебания звуковой частоты, которые усиливаются транзистором VT8 и преобразуются телефоном BF1 в звуковые колебания. Во время же коротких импульсов, когда транзистор VT5 открывается, резистор R11 через малое сопротивление открытого транзистора оказывается соединенным с плюсовым проводом источника питания и генерация основного мультивибратора срывается. В результате звук прерывается с частотой следования импульсов второго мультивибратора.

Третий мультивибратор, в котором работают транзисторы VT1 и VT2, генерирует сравнительно длинные (4...5 с) импульсы с относительно короткими паузами между ними. Во время прихода импульсов электромагнитное реле K1, включенное в коллекторную цепь транзистора VT3, срабатывает, его контакты K1.1, замыкаясь, подключают параллельно конденсатору C5 конденсатор C6. В результате основной мультивибратор становится несимметричным, тон прерывистого звука в телефоне BF1 (капсюль ДЭМ-4М), включенном в коллекторную цепь транзистора VT8, изменяется, чем и достигается имитация голосов утки и утят.

Источником питания игрушки могут быть две батареи 3336, соединенные последовательно, батарея «Крона» или аккумуляторная батарея 7Д-0,1. Электромагнитное реле K1 — типа РСМ-2 (паспорт Ю.171.81.31) или другое малогабаритное, срабатывающее при напряжении 6...8 В. Коэффициент $h_{21\text{э}}$ транзисторов практически не имеет существенного значения и может быть в пределах 15...80.

Налаживание игрушки сводится к раздельной проверке работы мультивибраторов. Чтобы проверить основной мультивибратор, временно отключи два других, разорвав, например, плюсовой проводник цепи питания в точке *а* (см. схему). При этом звук должен быть непрерывным. А если точку соединения резисторов R11 и R8 соединить с общим заземленным проводником, звук должен пропасть. Затем, отключив только третий мультивибратор (разорви временно общий проводник в точке *б*), проверь совместную работу первых двух мультивибраторов. Теперь звук должен стать прерывистым, а после включения третьего мультивибратора — имитирующим кряканье уток.

«Кот-лакомка». На небольшой подставке, слегка наклонив голову, сидит белый, с бантом на шее кот (рис. 256). Если к его носу поднести кусочек вареного мяса, колбасы или сыра, кот тут же начинает сверкать глазами и, как бы прося лакомый кусочек, мяукать.

Электронная часть этой игрушки состоит из трех блоков: генератора «Мяу» на транзисторах VT1—VT4, усилителя тока на транзисторах VT5, VT6 и генератора световых импульсов на транзисторах VT7 и VT8, имитирующего мигание глаз. Генератор «Мяу», в свою очередь, состоит из мультивибратора на транзисторах VT1 и VT2, генерирующего колебания с периодом примерно 3 с, и RC-генератора на транзисторе VT3, генерирующего колебания звуковой частоты около 800 Гц. RC-генератор возбуждается и создает с частотой

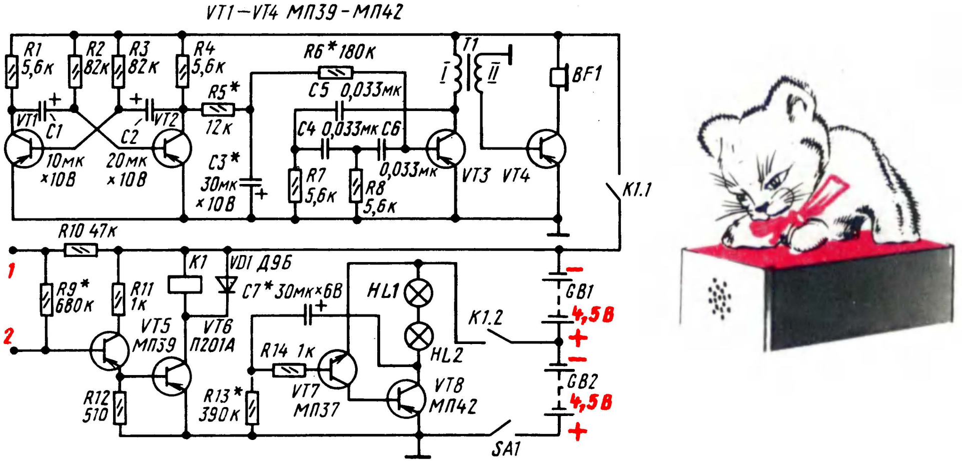


Рис. 256. Принципиальная схема и внешний вид атракциона «Кот-лакомка»

первого генератора чередующиеся пачки плавно увеличивающихся по амплитуде и тут же затухающих колебаний звуковой частоты. Эти колебания усиливаются транзистором VT4 и преобразуются телефоном BF1 (капсюль ДЭМ-4М) в звуковые колебания, воспринимаемые как звуки мяукающего кота. Генератор «Мяу» начинает работать при включении питания контактами K1.1 электромагнитного реле K1.

Генератор световых импульсов — знакомый тебе несимметричный мультивибратор на транзисторах разной структуры (VT7 — n-p-n; VT8 — p-n-p). Он генерирует колебания с периодом около 3 с. Через такие промежутки времени вспыхивают и гаснут лампочки HL1 и HL2 (глаза кота), являющиеся нагрузкой транзистора VT8. Включается генератор при замыкании контактов K1.2 того же реле K1.

Секрет игрушки кроется в контактах 1 и 2 на входе усилителя тока, в котором работают транзисторы VT5 и VT6. Эти контакты — отрезки тонкой неизолированной проволоки, тщательно замаскированные на мордочке кота. При замыкании их кусочком мяса (можно, разумеется, просто ваткой, смоченной подсоленой водой) сопротивление этого «лакомства» шунтирует резистор R9, резко повышая отрицательное напряжение на базе транзистора VT5. Увеличивающийся при этом ток базы усиливается транзисторами VT5 и VT6, в результате чего срабатывает реле K1, которое контактами K1.1 замыкает цепь питания генератора «Мяу», а контактами K1.2 — цепь питания генератора световых импульсов. Резистор R10 ограничивает токи базовых цепей транзисторов VT5 и VT6 при случайном замыкании контактов 1 и 2.

Блоки игрушки смонтированы в фанерном ящике-подставке. Капсюль ДЭМ-4м (BF1) находится против задрапированных отверстий в передней стенке подставки. Лампочки HL1 и HL2 (глаза) рассчитаны на напряжение 1 В и ток накала 75 мА; контакты 1 и 2 «различителя запаха» вмонтированы в голову кота и соединены с генератором световых импульсов и входом усилителя тока отрезками многожильного изолированного провода.

Трансформатор T1 генератора «Мяу» — межкаскадный трансформатор транзисторного приемника. Реле K1 — типа РС-13 (паспорт РС4.523.017), пружинные контакты которого ослаблены, чтобы реле срабатывало при напряжении источника питания 6...8 В. Коэффициент $h_{21Э}$ транзисторов может быть 30...60.

Блок питания игрушки образуют две соединенные последовательно батареи GB1 и GB2 (3336). Генератор световых импульсов питается от одной батареи GB2.

Нарастание и спад звука генератора «Мяу» определяются сопротивлениями резисторов R5, R6 и емкостью конденсатора C3, а высота и тембр звука — емкостями конденсаторов C4, C6 и сопротивлениями резисторов R7 и R8. Частоту миганий глаз, соответствующую частоте звуковых сигналов игрушки, можно установить подбором резистора R13 и конденсатора C7.

Сопротивление резистора R9 в базовой цепи транзистора VT5 должно быть таким, чтобы при разомкнутых контактах 1 и 2 коллекторный ток покоя транзистора VT6 был немного меньше тока отпускания реле K1. Вообще же этого резистора может и не быть.

В генераторе световых импульсов можно также применить лампочки накаливания от карманного фонаря (МН3,5-0,26) и питать его, как и генератор «Мяу», от всей батареи 9 В. В этом случае реле K1 может быть с одной группой нормально разомкнутых контактов (например, РЭС-10), которые включали бы одновременно оба генератора. Тогда во втором каскаде усилителя целесообразно использовать транзистор МП42, а в генераторе световых импульсов — транзистор ГТ402 (или любой другой средней или большой мощности структуры p-n-p).

Электронные качели. Внешний вид этой забавной игрушки-сувенира, созданной московским радиолюбителем Б. Федотовым, и схему, дающую представление о ее действии, ты видишь на рис. 257. Принцип ее работы основан на взаимодействии полей постоянных магнитов и электромагнитов. Постоянные магниты укреплены на подвижной части игрушки — перекладине качелей, а электромагниты Y1 и Y2, питающиеся пульсирующим током, — снизу иг-

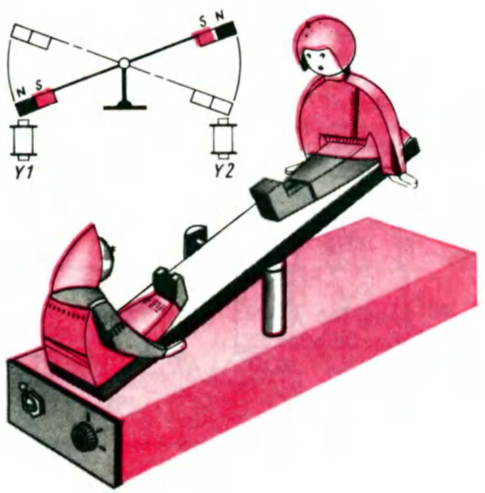


Рис. 257. Электронные качели

рушки, напротив постоянных магнитов. Когда в обмотке электромагнита появляется ток, вокруг ее магнитопровода возникает магнитное поле, которое в зависимости от направления тока в обмотке или притягивает к себе постоянный магнит, а вместе с ним и подвижную часть игрушки, или, наоборот, отталкивает. В результате игрушка «оживает» — фигурки человечков, сидящие на перекладине, качаются.

Схема электронной «начинки» игрушки показана на рис. 258, *а*. Электромагниты Y1 и Y2, приводящие игрушку в действие, питаются импульсами тока, генерируемыми симметричным мультивибратором, собранном на транзисторах VT1 и VT2. Частоту следования импульсов тока можно изменять с помощью переменного резистора R3, включенного в базовую цепь транзистора VT1 последовательно с резистором R4. Когда движок этого резистора находится в крайнем верхнем (по схеме) положении, частота следования импульсов наименьшая — около 20 в минуту, а в крайнем нижнем положении — наибольшая, — примерно 60 в минуту. Генерируемые импульсы тока усиливаются транзистором VT3, база которого непосредственно соединена с эмиттером транзистора VT2 мультивибратора, снимаются с нагрузочного резистора R6 и через резисторы R7 и R9 поступают на базы транзисторов VT4 и VT5, работающие как усилители тока. В моменты времени, когда транзистор VT3 открыт и сопротивление его участка эмиттер — коллектор мало, транзисторы VT4 и VT5 почти закрыты и их коллекторные токи незначительны. В промежутке же между импульсами транзистор VT3 закрывается, а транзисторы VT4 и VT5, наоборот, открываются. В эти моменты времени коллекторные токи транзисторов VT4 и VT5 резко увеличиваются, вокруг обмоток электромагнитов Y1 и Y2, включенных в эти цепи, возбуждаются магнитные поля, которые вступают во взаимодействие с постоянными магнитами, находящимися на концах перекладины качелей.

В электронном устройстве игрушки можно использовать любые маломощные низкочастотные транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока от 20 и больше. Диоды VD1 и VD2, шунтирующие обмотки электромагнитов (они выполняют ту же функцию, что и диод VD1 в электронном переключателе елочных гирлянд), могут быть любыми плоскостными. Резисторы на мощность рассеяния не менее 0,125 Вт. Оксидные конденсаторы — К50-3, К50-6. Все эти детали можно смонтировать на плате размерами примерно 50 × 100 мм. Монтажную плату вместе с батареей питания GB1, составленной из двух батарей 3336, размещай в фанерной или дощатой подставке.

Электромагниты самодельные (рис. 258, *б*). Для их сердечников используй прутки малоуглеродистой стали диаметром 12...13 и длиной 43...45 мм или сердечники негодных электромагнитных реле типа РКН. Щечки обмоток с внешним диаметром 28...30 мм вырежи из картона, тонкой фанеры или гетинакса. На сердечник между щечками каждого электромагнита намотай 2600—2800 витков провода ПЭВ-1 0,24...0,25. Сопротивление обмотки постоянному току должно быть около 65 Ом.

Постоянные магниты квадратного или прямоугольного сечения длиной по 25...30 мм или пластинчатого вида, например от магнитных защелок, укрепи в канавках на концах пластмассовой или деревянной перекладины, сделанной в виде бруска длиной 130...150, шириной 15...20 и толщиной 10...12 мм. Сверху к концам перекладины приклей легкие (по 10...12 г) одинаковые по массе куклы или фигурки животных. Электромагниты размещай под площадкой основания, выпиленной из листового гетинакса

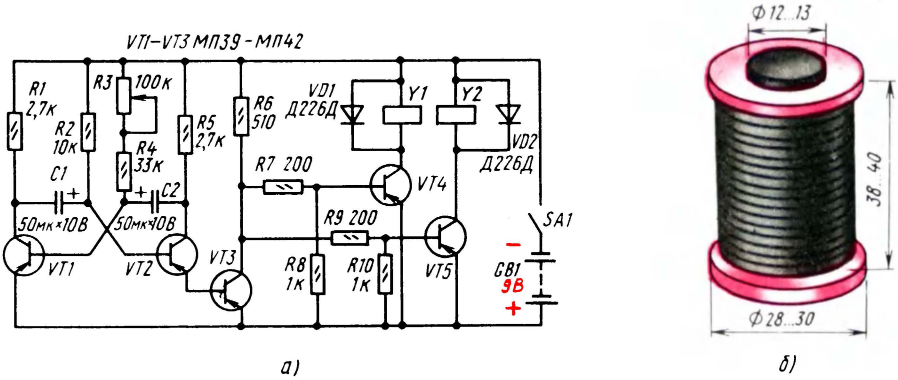


Рис. 258. Принципиальная схема электронных качелей (*а*) и устройство электромагнита (*б*)

или органического стекла толщиной 2...3 мм, так, чтобы их сердечники оказались против одноименных полюсов постоянных магнитов, обращенных к концам перекладины. Изменить полярность электромагнитов можно, поменяв местами включения выводы обмоток. Перекладина качелей с фигурками на ней должна быть уравновешена и без заметного трения качаться на проволочной стойке, расположенной на расстоянии 30...35 мм от поверхности основания игрушки.

Длительность импульсов в обмотках электромагнитов игрушки, определяемая номиналами конденсаторов и резисторов мультивибратора, выбрана такой, чтобы качели уже при первом же импульсе приходили в движение. Каждый последующий импульс тока заканчивается до перехода перекладины качелей из одного крайнего положения в другое. Обратное движение перекладины начинается от следующего импульса тока мультивибратора.

Готовую игрушку раскрась, позабавься немного, а затем подари младшему брату или сестренке.

Проведи — не задень! Основой такого аттракциона служат металлический стержень длиной 60...80 см и проволочное колечко с внутренним диаметром чуть больше толщины стержня. Играющий должен, пропуская стержень через колечко, провести колечко вдоль всей длины стержня и обратно, не коснувшись его. Задача играющего усложнится, если стержень согнуть кольцом или сделать волнообразным.

Роль сигнализатора касания деталей аттракциона может выполнять электронное устройство, схема которого приведена на рис. 259. На ней металлические стержень и колечко самого аттракциона выделены цветными линиями. При касании колечком стержня на конденсатор C1 и базу составного транзистора VT1VT2 (через резистор R1) подается отрицательное напряжение источника питания GB1. Составной транзистор при этом открывается и загорается лампочка HL1 в его коллекторной цепи. Эта часть устройства — световой сигнализатор, который, в свою очередь, управляет звуковым сигнализатором касания.

Звуковую часть сигнализатора образуют несимметричный мультивибратор на транзисторах VT3 и VT4 (он подобен мультивибратору на схеме на рис. 251), генерирующий электрические импульсы с частотой следования около 1000 Гц, и динамическая головка BA1, преобразующая эти импульсы в звук. Но мультивибратор подключен к источнику питания не непосредственно, а через транзистор VT2. Это значит, что звуковая часть сигнализатора включается лишь тогда, когда сопротивление участка коллектор-эмиттер транзистора VT2 близко к нулю, т. е. когда он открыт. Таким образом при касании обеих частей аттракциона одновременно появляются световой и звуковой сигналы электронного устройства.

Каково назначение конденсатора C1 на входе сигнализатора? Он увеличивает длительность реакции устройства на время касания элементов аттракциона. Происходит это так. Даже при кратковременном касании стержня колечком конденсатор успевает зарядиться до напряжения батареи питания, а составной транзистор VT1VT2 — открыться. Затем, когда контакта между стержнем и колечком уже не будет, конденсатор начинает разряжаться через резистор R1 и эмиттерные переходы составного транзистора. Как только напряжение на нем снизится до напряжения около 1 В, составной транзистор закроется, лампочка HL1 погаснет и прекратится звуковой сигнал. Длительность реакции входной части сигнализатора на сигнал аттракциона тем больше, чем больше емкость конденсатора. При емкости конденсатора 100...200 мкФ она будет менее секунды, что вполне достаточно для фиксирования касания деталей аттракциона.

А если конденсатора не будет или его емкость окажется небольшой? Тогда при кратковременном сигнале аттракциона нить лампочки не успеет накалиться, а звуковой сигнал будет еле уловимым.

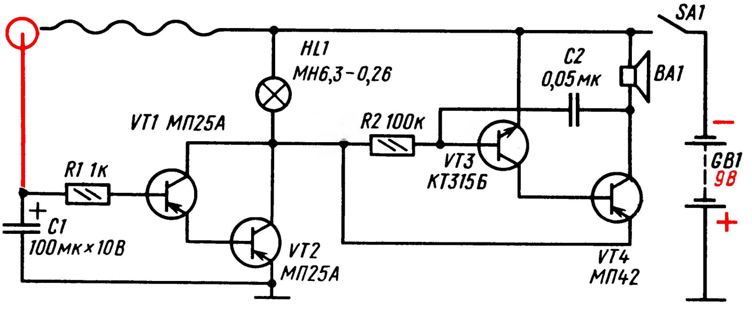


Рис. 259. Аттракцион «Проведи — не задень»

Все транзисторы сигнализатора могут быть с небольшим коэффициентом $h_{21\text{э}}$, но не менее 20...30. Можно, разумеется, использовать и другие транзисторы соответствующих структур и мощностей. Лампочка HL1 — МН6,3-0,3 или КМ6-60. Подбором резистора R1 устанавливают яркость свечения сигнальной лампочки при соединенных между собой стержне и колечке аттракциона.

ЭЛЕКТРОННЫЙ «СОЛОВЕЙ»

На одной из радиолюбительских выставок, проводившейся в Москве, наибольший интерес и одобрительные улыбки посетителей вызывала электронная игрушка радиокружка Тейковской городской станции юных техников Ивановской области, имитирующая голоса поющих соловьев. Правда, звуки больше напоминали трели канареек, но это нисколько не охлаждало любопытство посетителей выставки. Многие интересовались устройством игрушки, спрашивали, где можно найти его описание.

Чтобы удовлетворить любопытство юных радиолюбителей, я рассказал об устройстве и работе этого интересного звукового автомата в журнале «Радио». После этого в редакцию журнала пришло несколько десятков писем, авторы которых делились опытом конструирования электронных «соловьев». С технической точки зрения наибольший интерес, на мой взгляд, представляет «соловей», усовершенствованный радиолюбителем А. Ануфриевым из подмосковного города Чехов.

Принципиальную схему этого электромузыкального устройства, имитирующего трели соловья, ты видишь на рис. 260. На первый взгляд игрушка может показаться очень сложной — 16 транзисторов. Но при внимательном рассмотрении схемы это впечатление рассеется, потому что все здесь тебе уже знакомо. Да и многие транзисторы, используемые в автомате, могут быть с коэффициентом $h_{21\text{э}}$ всего 15...20. Он к тому же прост в налаживании и при компактном монтаже умещается в корпусе «карманного» приемника.

Основа игрушки — четыре взаимосвязанных однотипных мультивибратора и усилитель ЗЧ с выходной мощностью около 150 мВт. Питать ее можно от батареи напряжением 9 В («Крона», 7Д-0,1 или две батареи 3336, соединенные последовательно) или выпрямителя. Средний ток, потребляемый от источника тока при наибольшей громкости звучания, не превышает 50 мА.

Характерной особенностью этого электронного устройства, отличающей его от аттракционов «Утка с утятами» или «Кот-лакомка» является включение и переключение мультивибраторов не электромагнитными реле, а транзисторами. Кроме того, в мультивибраторах работают три транзисторные сборки 2НТ172 (217НТ2). В металлостеклянном корпусе такой микросхемы находятся четыре кремниевых n-p-n транзистора, каждый из которых имеет отдельные выводы и может работать как самостоятельный активный элемент. На принципиальной схеме транзисторы каждой сборки различаются только нумерацией их выводов.

Рассказ о работе электронного соловья начну с усилителя ЗЧ, обеспечивающего достаточно громкое звучание его «трелей». Он, как видишь, подобен знакомым тебе усилителям ЗЧ с бестрансформаторным выходом. Сигнал «соловья», снимаемый с переменного резистора R19, поступает через конденсатор С10 на базу транзистора VT6 каскада предварительного усиления напряжения, а с его нагрузочного резистора R25 — непосредственно на базу транзистора VT7 фазоинверсного каскада. Далее сигнал усиливается по мощности двухтактным каскадом на транзисторах VT7 и VT8 и головкой ВА1 преобразуется в звуковые колебания, имитирующие голос соловья.

Мультивибратор на транзисторах VT3.1 и VT3.2 сборки VT3, который будем называть первым, генерирует колебания частотой около

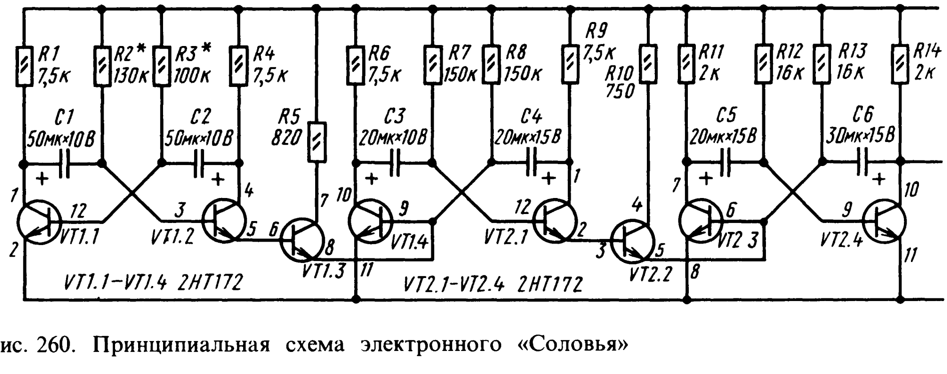


Рис. 260. Принципиальная схема электронного «Соловья»

5 кГц, соответствующие звуку высокого тона. После усиления транзистором VT3.3 той же сборки и трехкаскадным усилителем ЗЧ они определяют тембровую окраску трели соловья.

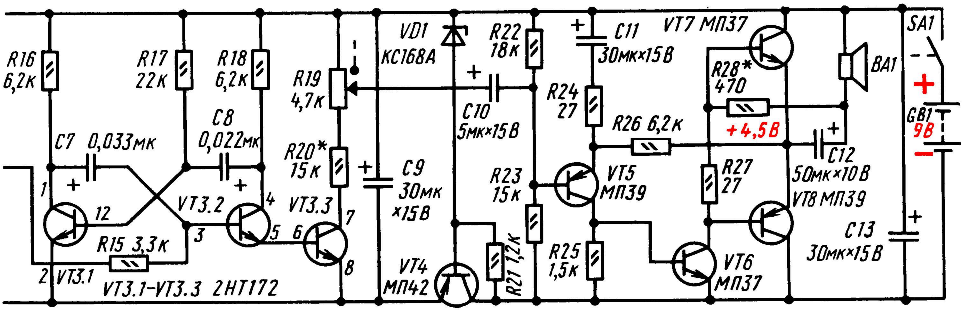
Работой первого мультивибратора управляет второй мультивибратор на транзисторах VT2.3 и VT2.4 сборки VT2, генерирующий колебания частотой 5 Гц. Когда транзистор VT2.4 закрыт, работает первый мультивибратор. В те же моменты, когда транзистор VT2.4 открывается и через его малое сопротивление и резистор R15 база транзистора VT3.2 оказывается соединенной с общим проводом цепи питания, первый мультивибратор не работает. В результате динамическая головка воспроизводит сигнал, напоминающий частое «щелканье», присущее трели соловья. Работой второго мультивибратора управляет третий мультивибратор, собранный на транзисторах VT1.4 и VT2.1, входящих в сборки VT1 и VT2. Генерируя колебания частотой около 1 Гц, он с такой же частотой прерывает генерацию второго мультивибратора. Когда транзистор VT2.1 закрыт, ток базы транзистора VT2.2 незначительный, поэтому этот транзистор тоже закрыт и не оказывает влияния на работу второго мультивибратора.

В свою очередь, третий мультивибратор управляется четвертым мультивибратором на транзисторах VT1.1 и VT1.2, который генерирует импульсы тока с периодом следования 6...8 с. Транзисторы VT1.3 и VT2.2 усиливают импульсы тока управляющих мультивибраторов. Таким образом, мультивибраторы формируют полную трель соловья, начинающуюся одиночным пощелкивающим свистом, переходящим в более частый, и заканчивающуюся быстрым переливом.

Напряжение питания, подаваемое на транзисторы мультивибраторов, стабилизируется стабилитроном VD1 и транзистором VT4. Без стабилизации напряжения соловьиные трели будут изменяться с уменьшением напряжения источника питания.

Внешний вид монтажной платы автомата и порядок расположения выводов транзисторов сборки 2НТ172 показаны на рис. 261, а сама печатная плата, выполненная из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, и схема соединения деталей на ней — на рис. 262. Размеры платы выбраны с таким расчетом, чтобы она вместе с батареей «Крона» или 7Д-0,1 разместилась в корпусе приемника, собираемого из набора деталей «Юность». Круглое отверстие в средней части платы предназначено для магнитной системы малогабаритной динамической головки мощностью 0,1-0,2 Вт (0,1ГД-6, 0,1ГД-12, 0,2ГД-1), укрепленной на лицевой панели корпуса, четыре овальных отверстия — для винтов крепления платы в корпусе. Все резисторы типа МЛТ-0,125 (можно МЛТ-0,25), оксидные конденсаторы типа К50-6, переменный резистор R19 с выключателем питания SA1 — СП3-3В. Резисторы R6, R8 и R9, R10 смонтированы в вертикальном положении. Один из транзисторов сборки VT3 (выводы 9—11) не используется.

В усилителе ЗЧ и стабилизаторе напряжения можно применять транзисторы серий МП39 — МП42 (VT5, VT8, VT4), МП37 или МП38 (VT6, VT7) и стабилитрон Д814А (VD1). Транзисторные сборки 2НТ172 можно без каких-либо изменений в схеме или конструкции заменить на 217НТ1 или 217НТ3. Вообще же вместо транзисторных сборок можно использовать кремниевые n-p-n транзисторы серий КТ315, КТ312 с любым буквенным индексом. Но тогда размеры монтажной платы придется увеличить и, кроме того, соответственно доработать участки токонесущих печатных проводников, относящихся к мультивибраторам «соловья». Монтаж же может быть навесным (если нет фольгированного материала и хлорного железа для травления платы), да и конструкция в целом иной — все зависит от имеющихся деталей и того, как ты намерен использовать эту музыкальную игрушку. В



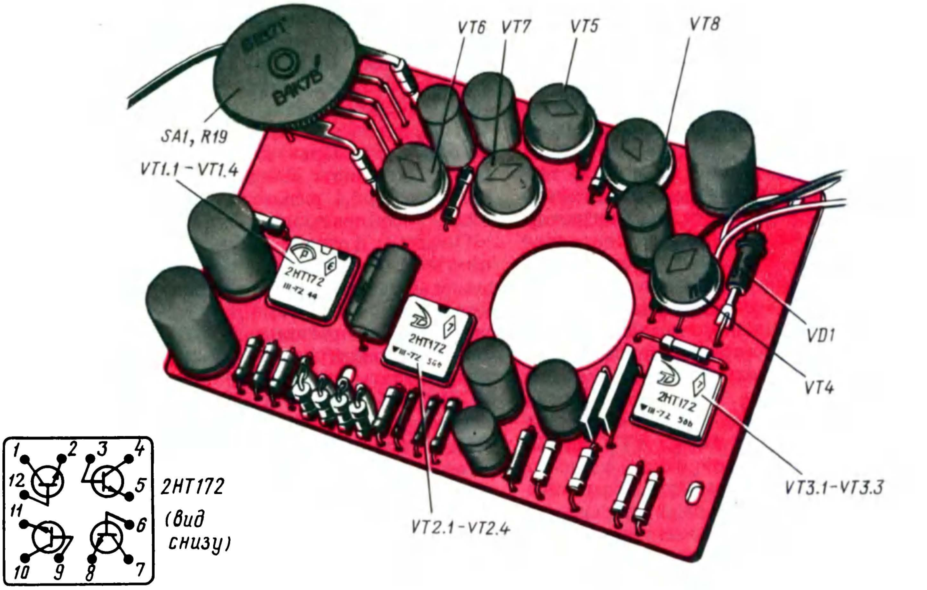


Рис. 261. Вид на монтажную плату «Соловей» и транзисторную сборку 2НТ172

таком случае и динамическая головка может быть мощнее, например 1ГД-40Р, чтобы повысить громкость звучания «соловья».

Налаживание усилителя ЗЧ тебе знакомо по ранее конструируемым бестрансформаторным усилителем с двухтактным выходным каскадом. Оно сводится к подбору резистора R28 таким образом, чтобы на эмиттерах транзисторов VT7 и VT8 выходного каскада было напряжение, равное половине напряжения источника питания. Проверить качество работы усилителя в целом можно путем воспроизведения грамзаписи, подключив звукосниматель параллельно резистору R22.

Налаживание основы «соловья» заключается в проверке работы мультивибраторов и корректировании его трелей. Оно осуществляется изменением частот генерируемых мультивибраторами импульсов путем подбора входящих в них конденсаторов, а в мультивибраторе на транзисторах VT1.1 и VT1.2 — подбором резисторов R2 и R3 в их базовых цепях. Для контроля работы мультивибраторов используй вольтметр постоянного тока с относительным входным сопротивлением не менее 10 кОм/В, например вольтметр твоего миллиампервольтомметра или транзисторный вольтметр (о нем я расскажу в следующей беседе). По отклонению стрелки вольтметра от нулевой отметки можно ориентировочно судить о периоде и длительности импульсов, генерируемых мультивибраторами.

Перед включением питания на монтажной плате тремя временными проволочными перемычками соедини базу и эмиттер транзистора VT2.4, эмиттеры транзисторов VT1.4 и VT2.1, а также эмиттеры транзисторов VT1.1 и VT1.2. Если мультивибратор на транзисторах VT3.1 и VT3.2 исправен, динамическая головка BA1 должна воспроизводить звуковой сигнал высокого тона, соответствующий частоте 4...5 кГц.

После этого удали первую проволочную перемычку, соединяющую выводы 9 и 11 сборки VT2 и проверь мультивибратор на транзисторах VT2.3, VT2.4. Если он исправен, то звук основного тона становится прерывистым с частотой около 5 Гц. При этом стрелка вольтметра, подключенного к коллектору транзистора VT2.4 (вывод 10 сборки VT2), должна пять раз в секунду отклониться от нулевой отметки шкалы.

Затем удали вторую проволочную перемычку (соединяющую вывод 11 сборки VT1 с выводом 2 сборки VT2) и проверь работоспособность мультивибратора на транзисторах VT1.4 и VT2.1. Вольтметр подключи к коллектору транзистора VT1.4 (вывод 10 сборки VT1) и подбором конденсаторов C3, C4 добивайся периода следования положительных импульсов около 1 с и длительности импульса 0,3 с. При

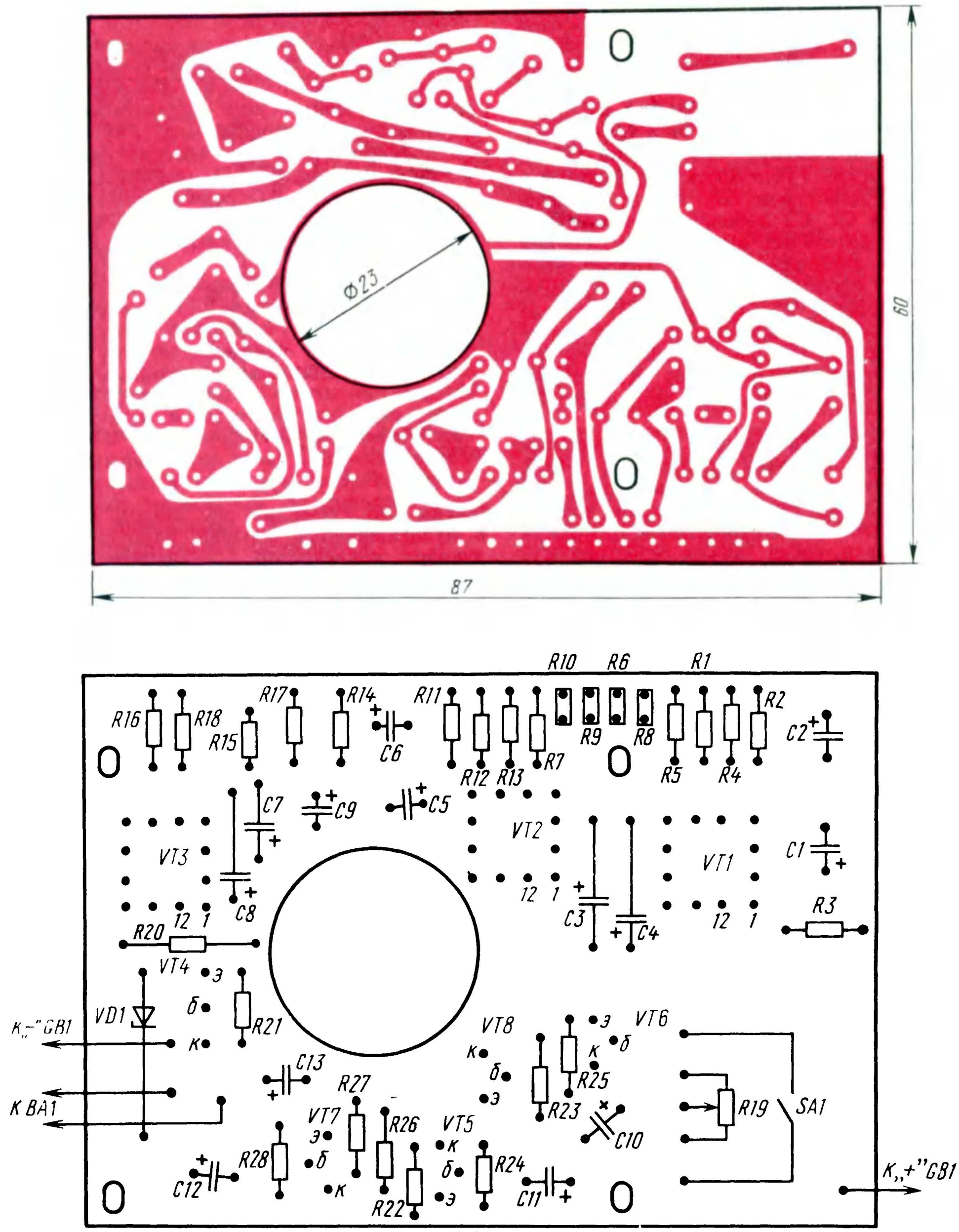

Ф23
60
87
R10
R6
R1
R16
R18
R15
R17
R14
C6
R11
R12
R13
R7
R9
R8
R5
R4
R2
C2
C7
C9
C5
VT2
VT3
C8
C3
C4
VT1
C1
R3
12
1
R20
VT4
э
б
к
VD1
R21
К „–" GB1
К BA1
C13
R27
VT8
VT7
R26
VT5
R28
C12
R22
R24
C11
R23
R25
VT6
C10
R19
SA1
К „+" GB1

Рис. 262. Печатная плата (вид со стороны токонесущих проводников) и схема соединения деталей на ней

этом динамическая головка в течение каждой секунды должна издавать звук, похожий на кудахтанье курицы: «куд-куд-куда-а», «куд-куд-куда-а» и т. д.

Далее проверяй мультивибратор на транзисторах VT1.1 и VT1.2, для чего вольтметр подключи к коллектору транзистора VT1.1 (вывод 1 сборки VT1). Здесь подбором сопротивлений резисторов R2, R3 и емкостей конденсаторов C1, C2 добивайся периода следования положительных импульсов 6...3 с при длительности импульса 2,5...3 с. После этого удали третью проволочную перемычку (соединяющую выводы 2 и 5 сборки VT1) и, если необходимо, окончательно скорректируй основной тон трели подбором конденсаторов C7 и C8. Сопротивление резистора R2 должно составлять 120...130 кОм, а резистора R3 91...100 кОм.

Резистор R20, образующий с переменным резистором R19 нагрузку транзистора VT3.3, подбирай в зависимости от примененной динамической головки. Его сопротивление должно быть таким, чтобы при наибольшей громкости звучания головки, когда движок резистора R19 находится в нижнем (по схеме) положении, усилитель 3Ч не перегружался и выходные транзисторы VT7 и VT8 не грелись.

Какие изменения можно внести в этот электронный автомат? Кроме замены транзисторных сборок (о чем я уже говорил) его можно упростить, исключив усилитель 3Ч. Для этого в коллекторную цепь транзистора VT3.3 надо вместо резисторов R19 и R20 включить телефонный капсюль ДЭМ-4м или один из излучателей головного телефона. Но, разумеется, громкость трелей при этом значительно снизится.

Если такую музыкальную игрушку предполагаешь подарить сестре, брату или школьному товарищу, то придется подумать и о ее внешнем оформлении. Вариантов может быть много. Например, ее можно оформить в виде музыкальной шкатулки, из которой при открывании крышки (в этот момент замыкаются замаскированные контакты выключателя питания) начинают звучать трели «соловья».

В заключение беседы хочу познакомить тебя еще с одной «профессией» мультивибратора.

ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратор такой разновидности генерирует одиночные импульсы тока (или напряжения) при подаче на его вход запускающих сигналов от другого источника, например от автоколебательного мультивибратора.

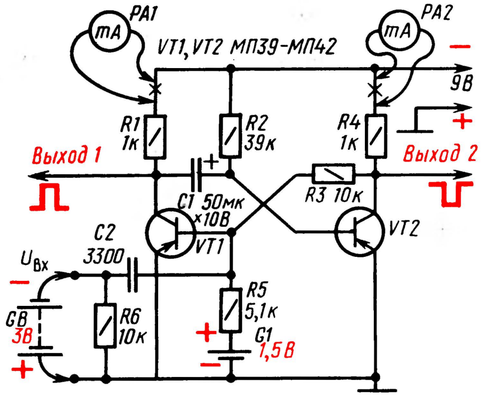


Рис. 263. Схема опытного ждущего мультивибратора

Чтобы автоколебательный мультивибратор, опыты с которым ты проводил в начале этой беседы (по схеме на рис. 249, *а*), превратить в мультивибратор ждущий, надо сделать следующее: конденсатор C2 удалить, а вместо него между коллектором транзистора VT2 и базой транзистора VT1 включить резистор (на рис. 263—R3) сопротивлением 10...15 кОм; между базой транзистора VT1 и заземленным проводником включить последовательно соединенные элемент 332 (G1) и резистор сопротивлением 4,7...5,1 кОм (R5), но так, чтобы с базой соединялся (через R5) положительный полюс элемента; к базовой цепи транзистора VT1 подключить конденсатор (на рис. 263—C2) емкостью 1...5 тыс. пФ, второй вывод которого будет выполнять роль контакта входного управляющего сигнала.

Исходное состояние транзистора VT1 такого мультивибратора — закрытое, а транзистора VT2 — открытое. Проверь — так ли это? Напряжение на коллекторе закрытого транзистора должно быть близким к напряжению источника питания, а на коллекторе открытого транзистора — не превышать 0,2...0,3 В. Затем в коллекторную цепь транзистора VT1 включи миллиамперметр на ток 10...15 мА и, наблюдая за его стрелкой, включи между контактом $U_{\text{вх}}$ и заземленным проводником, буквально на мгновение, один-два элемента 332, соединенные последовательно (на схеме GB), или батарею 3336. Только не перепутай: отрицательный полюс этого внешнего электрического сигнала должен подключаться к контакту $U_{\text{вх}}$. При этом стрелка миллиамперметра должна тут же отклониться до значения наибольшего тока коллекторной цепи транзистора, застыть на некоторое время, а затем вернуться в исходное положение, чтобы «ждать» следующего сигнала.

Повтори этот опыт несколько раз. Миллиамперметр при каждом входном сигнале будет показывать мгновенно возрастающий ток до 8...10 мА и спустя некоторое время — так же мгновенно убывающий почти до нуля коллекторный ток транзистора VT1. Это одиночные импульсы тока, генерируемые ждущим мультивибратором.

А если батарею GB подольше держать подключенной к зажиму $U_{вх}$. Произойдет то же, что и в предыдущих опытах,— на выходе мультивибратора появится только один импульс. Попробуй!

И еще один эксперимент: коснись вывода базы транзистора VT1 каким-либо металлическим предметом, взятым в руку. Возможно, и в этом случае ждущий мультивибратор сработает — от электростатического заряда твоего тела. Повтори такие же опыты, но включив миллиамперметр в коллекторную цепь транзистора VT2. При подаче управляющего сигнала коллекторный ток этого транзистора должен резко уменьшиться почти до нуля, а затем так же резко увеличиться до значения тока открытого транзистора. Это тоже импульс тока, но отрицательной полярности.

Каков же принцип действия ждущего мультивибратора?

В таком мультивибраторе связь между коллектором транзистора VT2 и базой транзистора VT1 не емкостная, как в автоколебательном, а резистивная — через резистор R3. На базу транзистора VT2 через резистор R2 подается открывающее его отрицательное напряжение смещения. Транзистор же VT1 надежно закрыт положительным напряжением элемента G1 на его базе. Такое состояние транзисторов весьма устойчиво. В этом состоянии они могут находиться сколько угодно времени.

Но вот на базе транзистора VT1 появился импульс напряжения отрицательной полярности. С этого момента транзисторы переходят в режим неустойчивого состояния. Под действием входного сигнала транзистор VT1 открывается, а изменяющееся при этом напряжение на его коллекторе через конденсатор C1 закрывает транзистор VT2. В таком состоянии транзисторы находятся до тех пор, пока не разрядится конденсатор C1 (через резистор R2 и открытый транзистор VT1, сопротивление которого в это время мало). Как только конденсатор разрядится, транзистор VT2 тут же откроется, а транзистор VT1 закроется. С этого момента мультивибратор вновь оказывается в исходном, устойчивом ждущем режиме.

Таким образом, ждущий мультивибратор имеет одно устойчивое и одно неустойчивое состояние. Во время неустойчивого состояния он генерирует один прямоугольный импульс тока (напряжения), длительность которого зависит от емкости конденсатора C1. Чем больше емкость этого конденсатора, тем больше длительность импульса. Так, например, при емкости конденсатора 50 мкФ мультивибратор генерирует импульс тока длительностью около 1,5 с, а с конденсатором емкостью 150 мкФ — раза в три больше. Через дополнительные конденсаторы положительные импульсы напряжения можно снимать с «Выхода 1», а отрицательные с «Выхода 2».

Только ли импульсом отрицательного напряжения, поданным на базу транзистора VT1, можно вывести мультивибратор из ждущего режима? Нет, не только. Это можно сделать и подачей импульса напряжения положительной полярности, но на базу транзистора VT2.

Итак, тебе остается экспериментально проверить, как влияет емкость конденсатора C1 на длительность импульсов и возможность управления ждущим мультивибратором импульсами положительного напряжения.

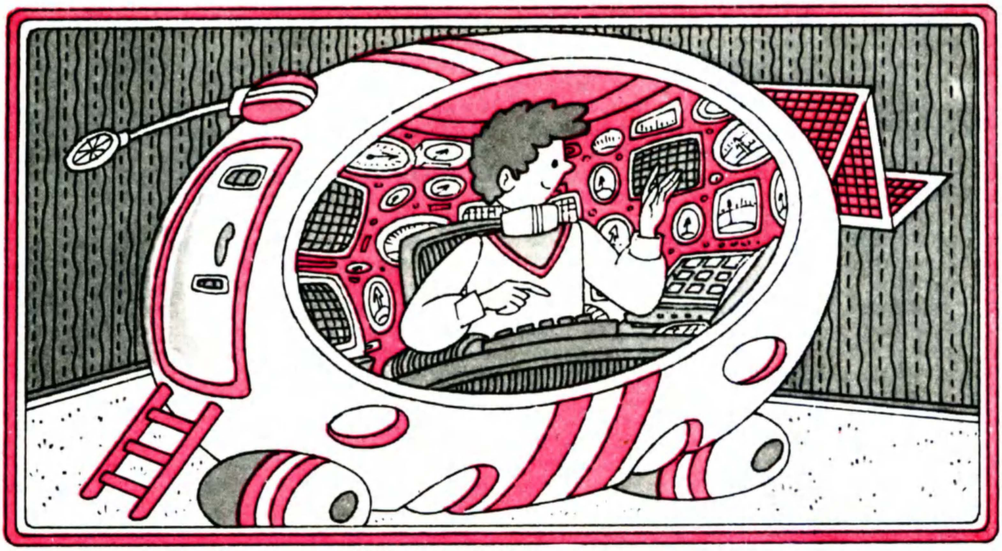
Как практически можно использовать ждущий мультивибратор? По-разному. Например, для преобразования синусоидального напряжения в импульсы напряжения (или тока) прямоугольной формы такой же частоты или включения на какое-то время другого прибора путем подачи на вход ждущего мультивибратора кратковременного электрического сигнала.

А как еще? Подумай!

* * *

В этой беседе ты познакомился лишь с принципом работы и некоторыми видами использования транзисторных мультивибраторов. Что же касается компоновки и монтажа деталей, размеров и внешнего оформления конструкции, то с этими задачами, полагаю, ты справишься и без моей помощи. Были задачи и посложнее.

Но с мультивибраторами, в том числе и на логических элементах цифровых микросхем, тебе еще придется иметь дело в следующих беседах.



БЕСЕДА ПЯТНАДЦАТАЯ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

О технической культуре современного радиолюбителя судят не только по тем приемникам или усилителям, которые он конструирует, но и по измерительной лаборатории, приборами которой он пользуется в процессе подбора деталей, при монтаже и налаживании аппаратуры. Да, юный друг, это так! Потому что без измерительных приборов невозможно добиться хорошей и длительной бесперебойной работы радиотехнического устройства. В этом, надеюсь, ты уже убедился на собственном опыте и неоднократно будешь убеждаться в будущем.

Основа измерительной лаборатории была тобой уже заложена в седьмой беседе. Но ее приборы были в основном лишь пробниками. Только миллиамперврльтомметр позволял производить необходимые измерения, без чего вообще нельзя заставить работать даже сравнительно несложный приемник, усилитель, электронную игрушку. У тебя не было приборов для измерения емкости конденсаторов, малых и больших сопротивлений резисторов, генератора колебаний звуковой частоты для налаживания и оценки качества работы усилителей при воспроизведении грамзаписи, вольтметра постоянного тока, которым можно было бы измерять напряжения непосредственно на базах транзисторов.

Вот о пополнении твоей измерительной лаборатории подобными приборами и пойдет разговор в этой беседе.

МОСТОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ

Такой прибор позволит с достаточно высокой точностью измерять сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, индуктивности катушек, наиболее часто применяемых в колебательных контурах, высокочастотных дросселей. Его основой служит измерительный мост, в одну из диагоналей которого включают источник тока, а в другую — индикатор тока, по кото-

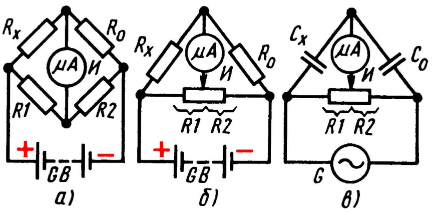


Рис. 264. Мосты для измерения сопротивлений (*а*, *б*) и емкостей (*в*)

рому оценивают электрические параметры этих радиодеталей.

Схему такого моста при измерении сопротивлений ты видишь на рис. 264, *а*. Измерительный мост состоит из четырех резисторов, образующих его четыре плеча: R_x — резистор, сопротивление которого измеряем; R_0 — образцовый (т. е. как бы эталонный) резистор, сопротивление которого известно; R1 и R2 — резисторы, сопротивления которых подбирают при измерении. Индикатором И, включенном в диагональ моста, может служить микроамперметр с нулевой отметкой в середине шкалы. Когда отношение сопротивлений резисторов R_x и R_0 равно отношению сопротивлений резисторов R1 и R2, через индикатор ток не идет, и его стрелка находится против нулевой отметки шкалы. В таком случае говорят, что измерительный мост сбалансирован, т. е. электрически уравновешен. Но стоит изменить сопротивление одного из плеч моста, заменив, например, резистор R_x резистором другого номинала, как произойдет перераспределение токов в плечах моста и он окажется разбалансированным — стрелка индикатора отклонится в ту или иную сторону от нулевой отметки на шкале в зависимости от нового соотношения сопротивлений плеч моста. Чтобы мост снова сбалансировать, надо соответственно изменить сопротивления одного из трех других плеч.

Поскольку сопротивления образцового R_0 и подбираемых резисторов R1 и R2 известны, сопротивление проверяемого резистора R_x нетрудно подсчитать по такой формуле: $R_x = R_0 R1/R2$.

Допустим, что $R_x = 10$ кОм, $R1 = 2$ кОм, а $R2 = 1$ кОм. В этом случае сопротивление измеряемого резистора R_x будет $R_x = 10 \cdot 2/1 = 20$ кОм.

Резисторы R1 и R2 можно заменить одним переменным резистором, как это показано на рис. 264, *б*. Здесь соотношение сопротивлений плеч моста, а значит, и его балансировка достигаются перемещением движка переменного резистора. А если против ручки этого резистора будет заранее размеченная шкала, отпадет необходимость в расчете сопротивления измеряемого резистора R_x. Переменный резистор в этом случае называют реохордом, а измерительный мост — реохордным мостом.

Теперь рассмотрим рис. 264, *в*, на котором изображена схема такого же моста, но предназначенного для измерения емкостей конденсаторов. Здесь C_0 — образцовый конденсатор; C_x — измеряемый конденсатор, а переменный резистор (R1 + R2) — реохорд, которым балансируют мост. Источником питания моста служит генератор переменного тока G, обозначенный на схеме знаком синусоиды в кружке. На этот ток должен реагировать и индикатор моста. Емкости конденсаторов измеряют так же, как и сопротивления резисторов, — путем балансировки моста и определения емкости по шкале реохорда.

Такой мост можно использовать и для измерения индуктивностей катушек колебательных контуров или дросселей высокой частоты, если в нем образцовый конденсатор заменить образцовой катушкой L_0, а вместо конденсатора C_x включить в мост измеряемую катушку индуктивности L_x.

Как видишь, принцип измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей деталей одинаков. Разница лишь в источнике питания и индикаторе моста.

А нельзя ли, спросишь ты, при любых измерениях питать мост переменным током. Можно! Например, переменным током звуковой частоты. В этом случае роль индикатора могут выполнять головные телефоны: баланс моста фиксируют по наименьшему звуку или пропаданию его. Такой прибор я и предлагаю для твоей лаборатории.

Принципиальная схема измерителя RCL показана на рис. 265. Транзисторы VT1, VT2 и относящиеся к ним резисторы R1 — R4 и конденсаторы C1, C2 образуют знакомый тебе симметричный мультивибратор — генератор. Транзистор VT3 является усилителем мощности, а его нагрузочный резистор R6 — реохордом измерительного моста, питающегося переменным током генератора. Резистор R5 ограничивает ток коллекторной цепи транзистора VT3, возрастающий при измерении индуктивностей, и тем самым предотвращает тепловой пробой этого транзистора.

Конденсаторы C3 — C5, резисторы R7 — R9 и катушка L1 — образцовые элементы моста, от точности номиналов которых зависит точность производимых измерений. Резисторы R_x и катушки L_x, электрические параметры которых надо измерить, подключают к зажимам X1—X2, а измеряемые конденсаторы C_x — к зажимам X2—X3. Головные телефоны BF, являющиеся индикатором балансировки измерительного моста, подключают к разъему X4.

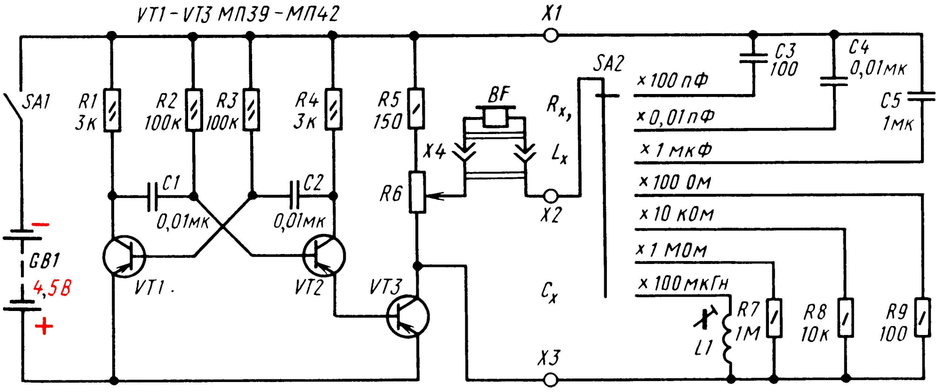


Рис. 265. Схема измерителя RCL

Советую ту часть схемы, которая относится к измерительному мосту прибора, начертить в таком же виде, как на рис. 264, *а*. Это поможет подробнее разобраться в плечах моста и его работе в целом.

В приборе несколько образцовых конденсаторов и резисторов. Так сделано для того, чтобы расширить пределы измерений, что достигается включением в мост образцовых конденсаторов и резисторов, номиналы которых различаются в число раз, кратное 10. Показанное на схеме положение переключателя SA2, когда в мост включен образцовый конденсатор C3 (100 пФ), соответствует поддиапазону измерения емкостей конденсаторов примерно от 10 до 1000 пФ. Во втором положении переключателя (включен конденсатор C4) можно измерить емкости конденсаторов от 1000 пФ до 0,1 мкФ, в третьем (включен конденсатор C5) — от 0,1 до 10 мкФ. Аналогично обстоит дело и при измерении сопротивлений резисторов: включение в мост образцового резистора R9 (100 Ом) соответствует поддиапазону измерения сопротивлений от 10 Ом до 1 кОм, включение резистора R8 (10 кОм) — поддиапазону измерений от 1 до 100 кОм, резистора R7 (1 МОм) — поддиапазону от 100 кОм до 10 МОм. С помощью только одного образцового конденсатора и одного образцового резистора перекрыть такой широкий диапазон измеряемых емкостей и сопротивлений невозможно.

Диапазон измерения индуктивностей катушек контуров и дросселей высокой частоты один — примерно от 10 до 1000 мкГн. Это тебя вполне устроит, так как индуктивность подавляющего большинства таких радиодеталей не превышает 1000 мкГн.

О чем говорят обозначения «×100 пФ», «×0,01 мкФ», «×1 мкФ» и т. д., сделанные возле контактов переключателя вида измерений SA2. Это коэффициенты, на которые надо умножить численные значения делений шкалы реохорда R6 измерительного моста. Шкала прибора (рис. 266) — общая для любых измерений. Ее деления обозначены цифрами от 0,1 до 10. И чтобы узнать, какова емкость или сопротивление детали, надо численное значение деления шкалы реохорда умножить на коэффициент, соответствующий положению переключателя моста. Например, при измерении сопротивления резистора мост твоего прибора оказался сбалансированным при положении переключателя SA2 на отметке «×100 Ом», а указатель ручки реохорда против деления 2,2 шкалы. Умножив 2,2 на 100 Ом, ты узнаешь сопротивление измеряемого резистора: 220 Ом.

Номиналы конденсаторов и резисторов кроме сопротивления реохорда R6 указаны на принципиальной схеме прибора. В качестве

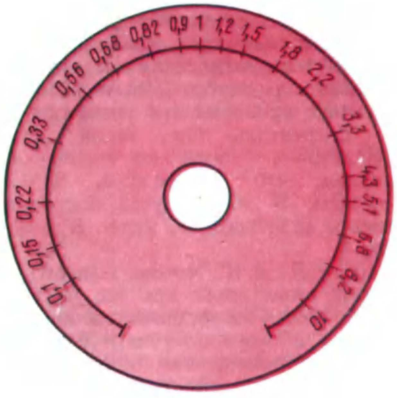


Рис. 266. Шкала измерителя RCL

реохорда используй проволочный переменный резистор, сопротивление которого может быть от 300...400 Ом до 8...10 кОм. В крайнем случае, если не окажется проволочного, можно поставить мастичный переменный резистор, например типа СП, но обязательно группы А, т. е. резистор, у которого сопротивление между движком и любым из крайних выводов изменяется пропорционально углу поворота оси. Переключатель поддиапазонов измерений одноплатный, на семь положений. Телефоны высокоомные; с низкоомными телефонами прибор будет обладать существенно меньшей чувствительностью и не позволит проводить измерения на поддиапазонах «×100 пФ» и «×1 МОм».

Катушка L1 — индуктивностью 100 мкГн. Для нее можешь использовать унифицированный или подобный ему самодельный каркас с ферритовыми кольцами и подстроечным сердечником, намотав на каркас 65—70 витков провода ПЭВ-1 0,15...0,2. Окончательно индуктивность катушки подгоняй с помощью подстроечного сердечника по заводскому прибору.

Конструкция прибора может быть двухпанельной, как показано на рис. 267. Верхняя панель, на которой находятся зажимы типа «крокодил» для подключения измеряемых деталей, разъем телефонов, переключатель видов измерений, реохорд со шкалой моста и выключатель питания, является лицевой панелью футляра прибора. Остальные детали смонтированы на второй, внутренней, несколько меньшей панели, удерживающейся на стойках переключателя. На оси реохорда и переключателя насажены ручки с клювиками-указателями. Для питания прибора использованы три элемента 332, которые соединены последовательно контактными пластинами из листовой меди.

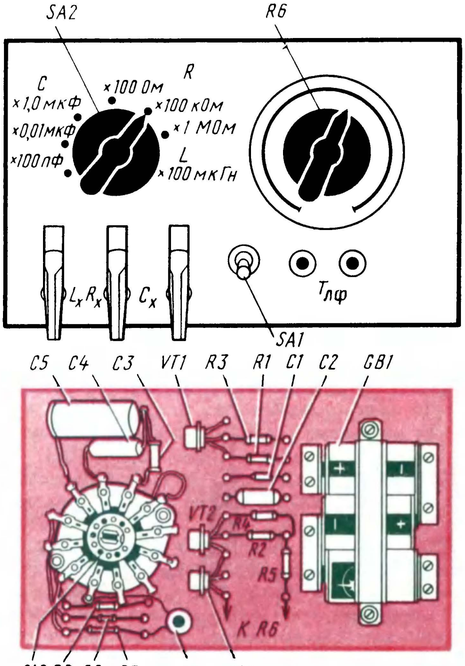


Рис. 267. Конструкция прибора

Образцовые резисторы R7—R9 и конденсаторы C3—C5, прежде чем их вмонтировать, надо обязательно проверить по точному измерительному прибору. Точность их номиналов должна быть возможно более высокой, во всяком случае, не хуже 5%. Измерь номиналы нескольких резисторов и конденсаторов для каждого поддиапазона и отбери те из них, которые имеют наименьшие отклонения от номиналов.

Генератор прибора никакой наладки не требует. А чтобы убедиться, работает ли он, достаточно подключить к его выходу, например, параллельно реохорду, телефоны — в них услышишь звук средней тональности. Генератор может не работать только из-за ошибок в монтаже или негодности каких-то деталей. Единственно, что тебе, возможно, придется сделать — это подобрать желаемый тон звука путем подбора емкости конденсаторов C1 и C2 мультивибратора. А вот с градуировкой шкалы тебе придется повозиться порядочно — ведь от того, насколько точно ты ее разметишь, зависят и результаты будущих измерений.

Шкала реохорда — общая для всех видов измерений. Значит, градуировать (размечать) ее можно только для одного поддиапазона измерений. Делать это целесообразнее для поддиапазона сопротивлений 10 Ом...1 кОм или 1...100 кОм. И вот почему: во-первых, резисторы таких сопротивлений наиболее ходовые, а во-вторых, к резисторам вообще при конструировании аппаратуры предъявляются более жесткие требования, чем к подавляющему большинству конденсаторов той же аппаратуры.

Хорошо, если для градуировки шкалы ты используешь так называемый магазин сопротивлений — набор эталонных резисторов, изготовленных из высокоомной проволоки. Он, возможно, есть и в физическом кабинете твоей школы. Но можно воспользоваться и набором резисторов соответствующего номинала, но обязательно с допуском отклонений от их номиналов не более 5%.

Делай это так. Сначала, установив переключатель SA2 на выбранный поддиапазон измерений, подключи к зажимам R_x резистор такого же номинала, как и образцовый резистор этого поддиапазона. Для поддиапазона 1...100 кОм это резистор сопротивлением 10 кОм (R8), а для поддиапазона 10 Ом...1 кОм — 100 Ом (R9). Поворачивая ручку реохорда в обе стороны, добейся минимального звука в телефонах и против «носика» ручки сделай отметку на дуге будущей шкалы. Это отметка множителя «×1», соответствующая для нашего примера сопротивлению 10 кОм (1×10 кОм = 10 кОм). Она должна находиться в середине дуги шкалы и делить ее на две равные части. После этого подключай к зажимам R_x другие резисторы убывающих или, наоборот, увеличивающихся номиналов и делай на шкале соответствующие отметки. В конечном итоге у тебя получится примерно такая же шкала, как изображено на рис. 266.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

В описаниях конструкций, публикуемых в радиотехнической литературе, обычно указывают относительное входное сопротивление вольтметра постоянного тока, которым измерены напряжения в цепях конструкции. Делал это и я, рассказывая о рекомендуемых усилителях, приемниках. Случайно ли это? Нет! Потому что напряжения в цепях конструкции, измеренные вольтметром с другим входным сопротивлением, могут быть иными. Объясняется это тем, что вольтметр своим входным (внутренним) сопротивлением шунтирует измеряемую цепь и тем самым изменяет ток и напряжение в ней. Чем меньше его входное сопротивление, тем он сильнее шунтирует измеряемый участок цепи, тем больше погрешность в результатах измерения.

Относительное входное сопротивление вольтметра постоянного тока комбинированного прибора, о котором я рассказал в седьмой беседе, 10 кОм/В. Оно достаточно высокое и во многих случаях вносит незначительные погрешности в измерения. Подчеркиваю: во многих, но не во всех. В тех же случаях, когда измеряемая цепь высокоомная, погрешность измерения становится ощутимой. Таким вольтметром уже нельзя достаточно точно измерить, например, напряжение непосредственно на базе или коллекторе транзистора, если нагрузочный резистор в его цепи обладает большим сопротивлением. И совсем нельзя измерить напряжение смещения на затворе полевого транзистора, входное сопротивление которого во много раз больше входного сопротивления вольтметра.

А если в комбинированном измерительном приборе будет использован микроамперметр на бо́льший ток $I_и$, чем 100 мкА? Например, на ток 500 мкА? В этом случае относительное входное сопротивление вольтметра уменьшится до 2 кОм/В. Измерять им напряжения в цепях твоих конструкций еще можно, но погрешности измерений будут больше. И наоборот, относительное входное сопротивление можно увеличить вдвое, до 20 кОм/В, если для него использовать микроамперметр на ток 50 мкА. Но такой микроамперметр, да еще с большой шкалой, тебе, вероятно, не удастся достать.

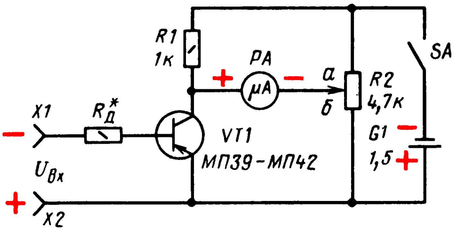


Рис. 268. Опытный вольтметр

Есть, однако, другой путь значительного увеличения входного сопротивления вольтметра — введение в него транзисторов. В связи с этим предлагаю опыт, который поможет тебе разобраться в принципе работы такого прибора.

Принципиальная схема опытного вольтметра изображена на рис. 268. Это, как и в измерителе RCL, измерительный мост, в диагональ которого включен микроамперметр PA. Плечи моста образуют: участок эмиттер — коллектор транзистора VT1, резистор R1 и участки *а* и *б* переменного резистора R2. Мост питает элемент G1 напряжением 1,5 В (332, 316). Измеряемое постоянное напряжение подается на эмиттерный переход транзистора через входные гнезда X1 и X2 и добавочный резистор $R_д$, гасящий избыточное измеряемое напряжение. Микроамперметр PA, являющийся индикатором баланса моста, может быть на ток 300...500 мкА и даже больше. Транзистор — с коэффициентом $h_{21э} = 50...60$. Сопротивление добавочного резистора $R_д$ зависит от используемого микроамперметра и определяет в основном входное сопротивление вольтметра. Оно должно быть не менее 30...50 кОм.

Движок резистора R2 установи в верхнее (по схеме) положение. Затем замкни накоротко входные гнезда X1 и X2, включи питание и резистором R2, медленно вращая его ось, установи стрелку микроамперметра на нулевую отметку шкалы. Через 3...5 мин, необходимые для прогрева транзистора, повтори корректировку нуля вольтметра. После этого разомкни входные зажимы, подай на них постоянное напряжение 1 В, например часть напряжения одного элемента 332 (через делитель напряжения), и подбором добавочного резистора $R_д$ добейся отклонения стрелки индикатора до конечной отметки шкалы. Это будет соответствовать 1 В измеряемого напряжения.

Каково входное сопротивление такого вольтметра? Во много раз (примерно в численное значение коэффициента $h_{21э}$ используемого транзистора) больше входного сопротивления вольтметра комбинированного прибора.

Каков принцип действия такого вольтметра? Его транзистор выполняет функцию усилителя тока и, кроме того, является элементом измерительного моста постоянного тока. Перед измерением мост был сбалансирован — движок резистора установлен в положение, при котором напряжение на микроамперметре и ток через него равны нулю. Но вот на входные гнезда вольтметра, а значит, и на эмиттерный переход транзистора ты, соблюдая полярность, подал измеряемое постоянное напряжение. Коллекторный ток от этого увеличивается, сопротивление участка эмиттер — коллектор уменьшается, в результате чего баланс моста нарушается и через микроамперметр течет ток, пропорциональный напряжению, поданному на вход вольтметра.

Таким прибором, а он, разумеется, может быть многопредельным, уже можно пользоваться как высокоомным вольтметром. Однако его все же надо рассматривать как опытный измеритель напряжения.

Для твоей измерительной лаборатории рекомендую построить транзисторный вольтметр по схеме, показанной на рис. 269. Он пятипредельный и рассчитан для измерений в цепях транзисторной аппаратуры, где напряжения в большинстве случаев не превышают 20...30 В. Плечи измерительного моста такого прибора образуют участки эмиттер — коллектор транзисторов VT1 и VT2, резистор R9 с верхней (по схеме) от движка частью подстроечного резистора R10 и резистор R11 с нижней частью резистора R10. В одну диагональ моста (между эмиттерами транзисторов) включен микроамперметр PA1, в другую (между коллекторами транзисторов и движком подстроечного резистора R10) — источник питания G1. Чтобы шкала вольтметра была равномерной, на базы транзисторов через резисторы R6—R8 подаются отрицательные напряжения смещения, открывающие оба транзистора.

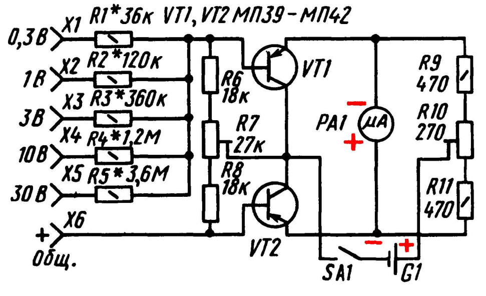


Рис. 269. Схема транзисторного вольтметра постоянного тока

Измерительный мост балансируют резистором R10 (при замкнутых между собой базах транзисторов), уравнивая им коллекторные токи транзисторов, и резистором R7, устанавливая им соответствующие токи баз, несколько различающиеся между собой из-за неидентичности параметров транзисторов.

Измеряемое напряжение подают на базы транзисторов через один из добавочных резисторов R1—R5. При этом транзистор VT1, база которого оказывается под отрицательным напряжением, еще больше открывается, а транзистор VT2, база которого оказывается под положительным напряжением, наоборот, закрывается. В результате сопротивление участка эмиттер — коллектор транзистора VT1 уменьшается, транзистора VT2 — увеличивается, отчего баланс моста нарушается и через микроамперметр PA1 течет ток, пропорциональный измеряемому напряжению.

Для вольтметра подбери транзисторы с коэффициентом передачи тока $h_{21э}$ около 50 и по возможности с малыми, а главное, близкими по значению обратными токами $I_{КБО}$. Чем меньше эти токи и разница между ними, тем стабильнее будет работать прибор.

Конструкция вольтметра может быть такой, как показана на рис. 270. Микроамперметр, выключатель питания SA1, элемент G1 (332), подстроечный резистор R10 и входные гнезда X1—X6 установлены на гетинаксовой панели, размеры которой определяются в основном размерами микроамперметра (в описываемом вольтметре использован микроамперметр М592). Остальные детали смонтированы на другой гетинаксовой панели, которая закреплена непосредственно на зажимах микроамперметра. Опорными монтажными точками этих деталей могут быть пустотелые заклепки или отрезки облуженного медного провода толщиной 1...1,5 мм, запрессованные в отверстия в панели. Для соединения микроамперметра с деталями прибора под гайки, навинченные на его шпильки-зажимы, подложены монтажные лепестки.

Роль подстроечных резисторов R7 и R10 могут выполнять переменные резисторы таких же или близких номиналов. Сопротивления резисторов R6 и R8 могут быть от 15 до 30 кОм, резисторов R9 и R11 — от 220 до 510 Ом.

Закончив монтаж вольтметра, сверь его с принципиальной схемой — нет ли ошибок?

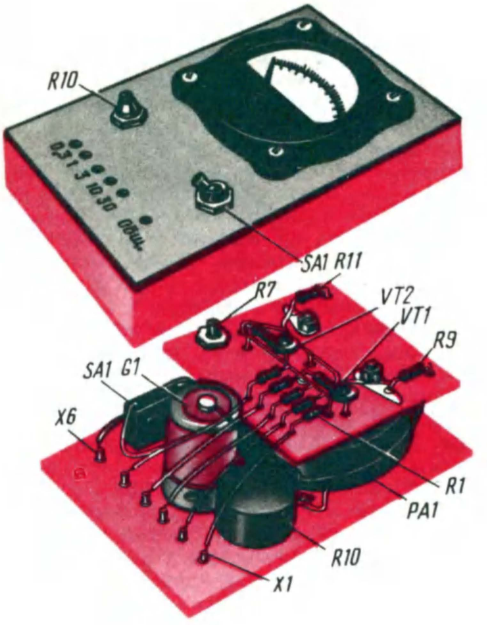


Рис. 270. Конструкция вольтметра

Движки подстроечных резисторов поставь в среднее положение относительно крайних выводов. Включи питание — стрелка микроамперметра тут же отклонится от нуля, быть может, даже в противоположную сторону. Медленно вращая ось резистора R7, установи стрелку на нулевую отметку шкалы. Затем проволочной перемычкой соедини временно между собой базы транзисторов и дополнительно сбалансируй мост резистором R10. И так несколько раз, пока стрелка микроамперметра перестанет реагировать на соединение баз транзисторов.

После этого приступай к подгонке добавочных резисторов пределов измерений. Делай это точно так же, как при налаживании вольтметра комбинированного измерительного прибора.

На схеме вольтметра сопротивления добавочных резисторов R1—R5 указаны применительно к микроамперметру на ток $I_{и}=200$ мкА и транзисторам со статическим коэффициентом передачи тока около 50. Для микроамперметра и транзисторов с другими параметрами сопротивления добавочных резисторов будут иными. В таком случае целесообразно сначала подобрать добавочный резистор R2 предела измерений 1 В, а затем по нему рассчитать сопротивления остальных добавочных резисторов. Так, например, если сопротивление добавочного резистора этого предела оказалось 50 кОм (примерно соответствует микроамперметру на ток $I_{и}=400$ мкА), то для предела 3 В добавочный резистор R3 должен быть сопротивлением около 150 кОм, для предела 0,3 В — около 15 кОм. Окончательно подбирай резисторы опытным путем, контролируя образцовым прибором напряжения, подаваемые на вход вольтметра.

Можно ли выбрать иные пределы измерений? Конечно, и продиктовать их может оцифрованная шкала микроамперметра. Так, например, если микроамперметр на ток $I_{и}=500$ мкА, пределы измерений могут быть 0,5; 1; 5; 10 и 50 В или 0,5; 2,5; 10 и 50 В.

Пользуясь транзисторным вольтметром, помни: начинать измерения надо спустя 5...6 мин после включения питания. За это время стабилизируется тепловой режим работы транзисторов и стрелка прибора устанавливается на нулевую отметку шкалы. Время от времени надо подстроечным резистором R10 корректировать нуль вольтметра.

Как часто придется заменять элемент питания свежим? Ток, потребляемый вольтметром, не превышает 3...5 мА. Это значит, что элемент работает почти вхолостую и может служить не менее года.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Мультивибратор, используемый в качестве источника сигналов, хорош лишь как пробник. Но он совсем непригоден для налаживания усилителей ЗЧ, аппаратуры телеуправления моделями, многих электронных автоматов, для которых выходной сигнал измерительных генераторов должен быть синусоидальным.

Расскажу о двух генераторах: на одну фиксированную частоту 1000 Гц и с плавным изменением частоты выходного сигнала примерно от 200 до 3000 Гц. Первый из них проще, второй сложнее. Но чтобы сигналы генераторов были синусоидальной формы, для настройки их потребуется электронно-лучевой осциллограф.

Схему измерительного генератора первого варианта ты видишь на рис. 271. Сам генератор прибора представляет собой обычный однокаскадный усилитель на транзисторе VT1, охваченный положительной обратной связью. Напряжение положительной обратной связи с нагрузочного резистора R5 подается на базу транзистора VT1 через трехзвенную фазосдвигающую цепочку, состоящую из конденсаторов C1—C3, резисторов R1—R4 и входного сопротивления транзистора. В результате усили-

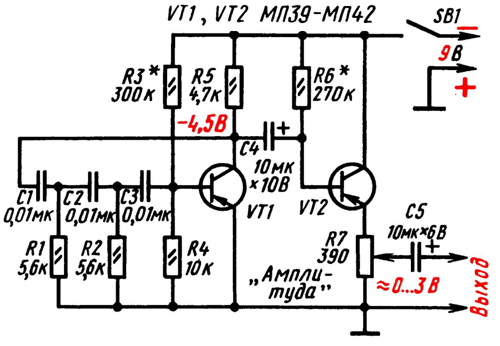


Рис. 271. Схема генератора колебаний фиксированной частоты

тель возбуждается и генерирует электрические колебания, частота которых определяется данными деталей фазосдвигающей цепочки. Такие измерительные генераторы называют генераторами типа RC.

Напряжение смещения, обеспечивающее транзистору режим генерации, подается на его базу с делителя R3, R4. Подбором резистора R3, входящего в этот делитель напряжения, добиваются синусоидальной формы выходного напряжения генератора.

С резистора R5 сигнал генератора поступает на вход второго каскада, транзистор VT2 которого включен эмиттерным повторителем, а с движка его нагрузочного резистора R7 — через конденсатор C5 на вход проверяемого или налаживаемого усилителя ЗЧ. Переменным резистором R7 напряжение выходного сигнала генератора можно плавно регулировать от нуля до 2,5...3 В. В принципе второго каскада может не быть. Нагрузочный резистор можно заменить переменным резистором такого же номинала и с его движка снимать сигнал генератора. Но тогда в зависимости от входного сопротивления налаживаемого усилителя, которое будет шунтировать сравнительно высокоомный выход генератора, напряжение и частота сигнала генератора будут несколько изменяться. Эмиттерный повторитель с его низкоомным выходом исключает эти нежелательные изменения.

Конструкция генератора произвольная. Важно лишь, чтобы она была не громоздкой и удобной в работе. Желательно, чтобы заземленный проводник выхода генератора был с зажимом типа «крокодил». Питать генератор можно от любой батареи с напряжением 9 В или сетевого блока питания. Потребляемый ток не превышает 5 мА.

Если детали предварительно проверены и нет ошибок в монтаже, все налаживание генератора заключается лишь в подборе оптимальных сопротивлений резисторов R3 и R6. Чтобы убедиться в работоспособности генератора, подключи высокоомные головные телефоны параллельно резистору R5 — в телефонах услышишь звук средней тональности. После этого телефоны подключи к выходу генератора. Теперь громкость звука в телефонах должна изменяться при вращении ручки переменного резистора R7, а его тональность оставаться неизменной.

Затем сигнал с выхода генератора подай на вход «Y» усилителя вертикального отклонения луча осциллографа. Регуляторы усиления и частоты развертки осциллографа установи в такие положения, чтобы на экране хорошо просматривались два-три колебания генератора. После этого подбором сопротивления резистора R3 добивайся синусоидальной формы колебаний, а подбором сопротивления резистора R6 устраняй односторонние ограничения амплитуды сигнала. На это время резисторы R3 и R6 целесообразно заменить переменными, с их помощью добиться неискаженной формы сигнала, затем заменить их постоянными резисторами соответствующих номиналов и еще раз по изображению на экране трубки осциллографа проверить форму сигнала генератора.

Почему частота генератора выбрана 1000 Гц? Потому что это одна из основных измерительных частот, используемых для проверки качества работы усилителей ЗЧ.

Не исключено, что частота колебаний смонтированного генератора будет несколько отличаться от 1000 Гц, что можно проверить по частотомеру. Но это не должно тебя волновать, потому что, во-первых, это вполне допустимо для любительской аппаратуры, а во-вторых, в твоей измерительной лаборатории должен быть еще и генератор с плавным изменением частоты.

Генератор колебаний ЗЧ с плавным изменением частоты можно собрать по схеме, показанной на рис. 272. Он представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный двумя цепями обратной связи: положительной, благодаря которой усилитель становится генератором электрических колебаний, и отрицательной, улучшающей форму генерируемых колебаний. Транзисторы VT1 и VT2 первого каскада включены по схеме составного транзистора, что повышает усиление и входное сопротивление каскада, а транзистор VT3 второго каскада — по схеме ОЭ. Непосредственная связь между транзисторами улучшает работу генератора на наиболее низких частотах генерируемых колебаний.

Цепь положительной обратной связи состоит из последовательной и параллельной RC-ячеек. В последовательную ячейку входят

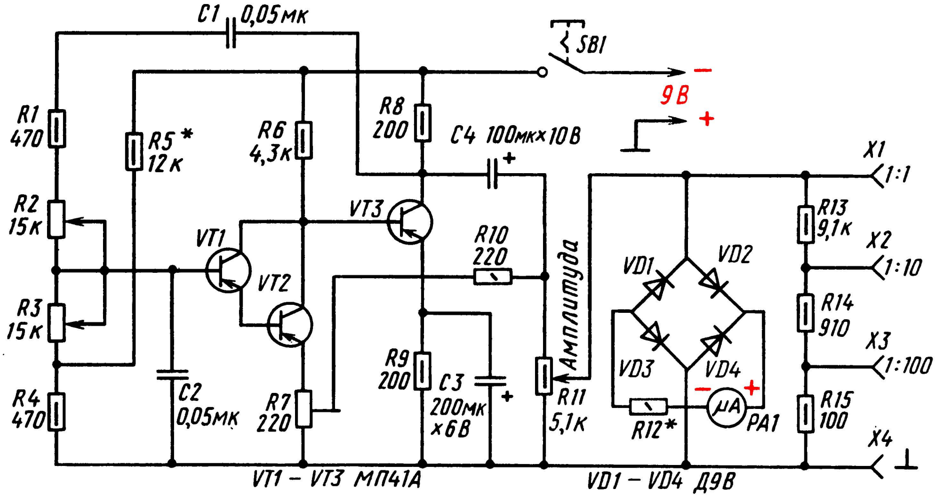


Рис. 272. Схема генератора с плавным изменением частоты

конденсатор С1 и резисторы R1, R2, а в параллельную — конденсатор С2 и резисторы R3, R4. Эти RC-ячейки образуют два плеча делителя переменного напряжения, снимаемого с нагрузочного резистора R8 транзистора VT3 второго (выходного) каскада и поступающего в цепь базы составного транзистора VT1VT2 первого каскада.

Напряжение отрицательной обратной связи, благодаря которой выходной сигнал генератора приобретает форму синусоиды, снимается с нагрузочного резистора R8 второго каскада и через конденсатор С4, развязывающий резистор R10 и движок подстроечного резистора R7 подается в эмиттерную цепь транзистора первого каскада.

Частоту колебаний генератора плавно регулируют сдвоенным блоком переменных резисторов R2 и R3, входящих в плечи делителя выходного напряжения. Резисторы R5 и R4 образуют делитель напряжения источника питания, с которого на базу составного транзистора VT1VT2 снимается напряжение смещения, а резистор R7 термостабилизирует режим его работы. Напряжение смещения на базу транзистора VT3 снимается непосредственно с коллектора составного транзистора. Оксидный конденсатор С3 большой емкости, шунтирующий резистор R9 в эмиттерной цепи транзистора VT3, улучшает условия самовозбуждения генератора на низших частотах.

С нагрузочного резистора R8 выходного каскада напряжение генератора через конденсатор С4 подается на переменный резистор R11, а с его движка — на гнезда X1 — X4 с делителем напряжения (так называемым аттенюатором), составленным из резисторов R13 — R15, включенных между собой последовательно. Сопротивления резисторов этого делителя, указанные на схеме, подобраны с таким расчетом, чтобы напряжение на гнезде X2 составляло 1/10, а на гнезде X3 — 1/100 часть всего напряжения, поданного на делитель. Так, например, если от переменного резистора R11 «Амплитуда» на делитель подано напряжение 1 В, между гнездами X4 и X2 будет 0,1 В (100 мВ), а между X4 и X3 — 0,01 В (10 мВ).

Одновременно напряжение с движка резистора R11 подается и на двухполупериодный выпрямитель на точечных диодах VD1 — VD4. В диагональ выпрямительного моста включен (через гасящий резистор R12) микроамперметр PA1, по которому контролируют напряжение на делителе выходного напряжения.

Транзисторы МП41А можно заменить другими низкочастотными p-n-p транзисторами, но их статический коэффициент передачи тока должен быть не менее 60. Диоды VD1 — VD4 — любые из серий Д9 или Д2. Микроамперметр PA1 на ток полного отклонения стрелки не более 300 мА. Сдвоенный блок переменных резисторов R2, R3 типа СП-III. Сопротивление резисторов блока может быть меньше, например 10 кОм, но тогда частота генерируемых колебаний сдвинется в сторону более высоких частот звукового диапазона. Оксидные конденсаторы С3, С4 и выключатель питания SB1 могут быть любых типов. Сопротивление резистора R12 зависит от используемого микроамперметра.

Сопротивления резисторов R1, R4 и емкости конденсаторов С1, С2 должны быть возможно

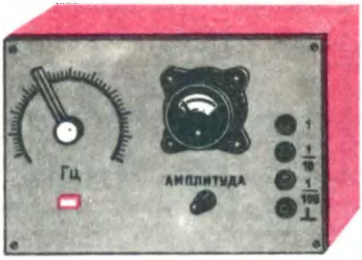


Рис. 273. Конструкция генератора

одинаковыми, во всяком случае, не должны отличаться более чем на 5%. Отбирай их на измерителе RCL.

Внешний вид возможной конструкции генератора показан на рис. 273. Ориентировочные ее размеры 200 × 150 × 100 мм. Лицевую панель желательно сделать из листового гетинакса, текстолита или цветного органического стекла толщиной 2...3 мм. На ней размещены блок переменных резисторов с визирной пластинкой и шкалой, выключатель питания (П2К), микроамперметр, переменный резистор R11 «Амплитуда» и выходные гнезда генератора. Резисторы R13—R15 делителя выходного напряжения монтируй непосредственно на гнездах X1—X4, диоды VD1—VD4 и резистор R12—на зажимах микроамперметра. Остальные детали можно смонтировать на плате подходящих размеров. Боковые стенки футляра могут быть как металлическими, так и фанерными—безразлично. Надо только постараться, чтобы внешний вид генератора был опрятным, а конструкция прочной—ведь пользоваться этим измерительным прибором будешь, вероятно, не только ты, но и твои товарищи-радиолюбители.

До окончательной сборки генератора тщательно проверь его монтаж по принципиальной схеме. К выходным гнездам подключи головные телефоны, движок переменного резистора R11 «Амплитуда» поставь в верхнее (по схеме) положение, а движок подстрочного резистора R7—в нижнее положение. Если теперь включить питание, то в телефонах услышишь звук, который при вращении ручки блока переменных резисторов должен плавно изменяться от очень низкого до высокого тона. Если звука нет, добивайся его подбором резистора R5 (заменив его временно переменным резисторов на 20...30 кОм). Затем сигнал с выхода генератора подай на вход «Y» осциллографа и, наблюдая изображение на экране его электронно-лучевой трубки, очень медленно перемещай движок подстроечного резистора R7 вверх (по схеме). При этом в цепь эмиттера транзистора VT2 будет подаваться все большее напряжение отрицательной обратной связи, отчего сигнал генератора будет приобретать синусоидальную форму. При чрезмерно глубокой отрицательной обратной связи генерация будет сорвана. Движок подстроечного резистора установи в такое положение, когда сигнал имеет синусоидальную форму и генерация не срывается при изменении частоты. После этого подбором резистора R5 добейся наибольшей амплитуды колебаний и еще раз подстроечным резистором попытайся улучшить синусоиду сигнала.

Градуировать (размечать) шкалу блока переменных резисторов можно по частотомеру, подавая на его вход напряжение генератора, или с помощью осциллографа и заводского генератора колебаний звуковой частоты, например типа ЗГ-10 или ЗГ-11. Во втором случае на вход «Y» вертикального отклонения луча осциллографа подают напряжение от самодельного генератора, на вход «X» горизонтального отклонения луча—напряжение от заводского ЗГ, а равенство частот генераторов определяют по так называемым фигурам Лиссажу, создающимся на экране осциллографа.

Отградуированная шкала твоего прибора будет исходным показателем частот генерируемых им колебаний.

Остается измерить вольтметром переменного тока комбинированного прибора выходное напряжение генератора и подобрать добавочный резистор R12 в цепи микроамперметра, соответствующий этому напряжению. В зависимости от транзисторов, используемых в генераторе, и тщательности подгонки режима их работы максимальное выходное напряжение генератора может составлять 1,2...1,5 В. Резистор R12 подбери такого номинала, чтобы при максимальном переменном напряжении стрелка микроамперметра отклонялась почти на всю шкалу. Сделай на шкале отметки, соответствующие переменным напряжениям 0,25; 0,5 и 1 В на выходе генератора, пользуясь которыми ты будешь регулировать напряжения сигналов, подаваемые на вход проверяемого или налаживаемого усилителя ЗЧ.

Футляр готового генератора покрась нитроэмалью светлого тона или оклей декоративной поливинилхлоридной пленкой.

В заключение—один технологический совет. Дело в том, что блоки сдвоенных переменных резисторов в магазинах радиотоваров бывают очень редко. А без них нельзя построить генератор с плавной регулировкой частоты колебаний. Но аналогичный блок можно сделать самому.

Наиболее простая конструкция такого блока показана на рис. 274. Для его изготовления потребуются два переменных резистора, причем один из них должен быть типа ТК (с выключателем), а второй — типа СП-I. Номинальные сопротивления резисторов могут быть в пределах 4,7...15 кОм, но совершенно одинаковыми. Они, кроме того, по функциональным характеристикам должны быть одной группы, т. е. оба группы Б или оба группы А. Невыполнение этих требований, предъявляемых к подбираемым переменным резисторам для блока, ведет к сбоям в работе генератора.

У резистора типа ТК удали металлическую крышку с выключателем (они в блоке не пригодятся). Поводок 1 выключателя изогни осторожно так, чтобы его конец стал как бы продолжением оси резистора. У второго резистора укороти ось и на торце пропили ножовкой или надфилем шлиц, в который бы плотно входил конец поводка выключателя первого резистора.

Оба резистора укрепи на П-образном кронштейне 2 из полоски листового металла толщиной 1...1,5 мм, предварительно просверлив в нем отверстия по диаметру резьбовых втулок резисторов. Готовый блок крепи на панели генератора гайкой первого резистора.

Повторяю: для устойчивой генерации прибора во всем диапазоне частот оба переменных резистора, подобранные для блока, должны быть с одинаковыми функциональными характеристиками и номинальными сопротивлениями. В готовом блоке вводимые сопротивления резисторов должны изменяться при одинаковых углах поворота их осей. Не скрою, дело это кропотливое, тонкое, но без этого не обойтись.

ПРОСТОЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ЧАСТОТОМЕР

Такой прибор необходим при измерении частоты синусоидальных переменных и пульсирующих напряжений и токов в диапазоне ЗЧ. Он может быть также полезным прибором, например при градуировке шкалы измерительного генератора, при настройке электромузыкальных инструментов, аппаратуры телеуправления моделями. Короче говоря, частотомер желательно иметь в твоей измерительной лаборатории.

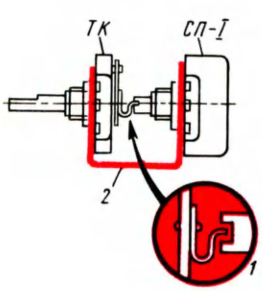


Рис. 274. Самодельный блок переменных резисторов

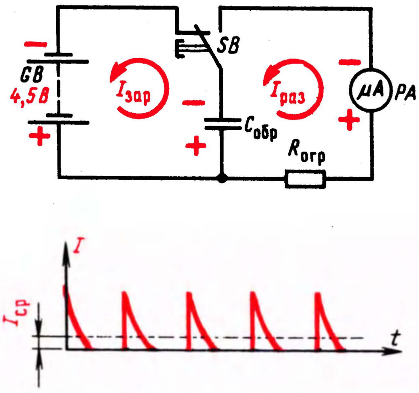


Рис. 275. Опыт, иллюстрирующий принцип работы конденсаторного частотомера

Многие радиолюбители пользуются конденсаторными частотомерами. Так эти приборы называют потому, что их действие основано на измерении среднего значения тока зарядки или разрядки образцового конденсатора, перезаряжаемого от источника напряжения переменного или пульсирующего тока.

Чтобы разобраться в этом вопросе, проведи такой опыт. Соедини по схеме на рис. 275 батарею 3336 (GB), бумажный образцовый конденсатор $C_{обр}$ емкостью 0,5...1 мкФ, микроамперметр PA на ток 100...300 мкА, например микроамперметр комбинированного измерительного прибора или транзисторного вольтметра, и кнопочный переключатель SB типа КМ1-1. Последовательно с микроамперметром включи ограничительный резистор $R_{огр}$, сопротивление которого рассчитай по формуле: $R_{огр} = U_б / I_и$, где $U_б$ — наибольшее напряжение батареи, используемой для опыта; $I_и$ — ток полного отклонения стрелки микроамперметра.

Кнопочный переключатель SB подключи так, чтобы его контакты находились в положении, показанном на схеме. При этом конденсатор мгновенно зарядится до напряжения батареи. Нажми кнопку, чтобы заряженный конденсатор переключить на микроамперметр Стрелка прибора отклонится вправо, фиксируя ток разрядки конденсатора, и тут же вернется на нулевую отметку. Постарайся ритмично и возможно чаще нажимать и отпускать кнопку переключателя. С такой же частотой конденсатор будет заряжаться от батареи и разряжаться через прибор. Чем больше частота этих переключений, тем меньше будет колебаться стрелка прибора, показывая среднее значение тока через него (на графике в нижней части рис. 275 среднее значение тока $I_{ср}$). При том же образцовом конденсаторе с повышением частоты переключений прибор будет фиксировать все возрастающий ток. Таким образом, по отклонению стрелки можно судить о частоте импульсов тока, подаваемых на прибор.

Предлагаю для твоей измерительной лаборатории простой частотомер двух вариантов: транзисторный и на логических элементах 2И-НЕ. Испытай в работе оба варианта, что можно сделать за пару вечеров, и остановись на том из них, который больше понравится.

Схема первого варианта частотомера приведена на рис. 276. В приборе два транзистора с непосредственной связью между ними, которые работают в режиме переключения. Конденсаторы С2—С4 образцовые. С конденсатором С2 прибором можно измерять частоту переменного или пульсирующего тока, подаваемого на входные гнезда X1 и X2, примерно от 20 до 200 Гц, с конденсатором С3—от 200 до 2000 Гц и с конденсатором С4—от 2 до 20 кГц. Таким образом, весь диапазон частот, измеряемый прибором, составляет 20 Гц...20 кГц, т. е. перекрывает весь диапазон звуковых колебаний. Наименьшее измеряемое напряжение 0,2...0,25 В, наибольшее—3 В.

В исходном состоянии транзистор VT1 закрыт, так как на его базу с делителя R2, R3 подается недостаточное для его открывания напряжение, а транзистор VT2, естественно, открыт отрицательным напряжением, подаваемым на его базу с коллектора транзистора VT1. В это время левая (по схеме) обкладка образцового конденсатора С2 соединена через контакты переключателя SA1 и малое сопротивление открытого транзистора VT2 с общим проводником цепи питания; ток через микроамперметр PA1 не идет.

При первом же отрицательном полупериоде переменного напряжения, поданного на вход частотомера, транзистор VT1 открывается, а транзистор VT2, наоборот, закрывается. В это время образцовый конденсатор мгновенно заряжается через микроамперметр PA1 и шунтирующий его резистор R6, диод VD4 и резистор R5 до напряжения источника питания. Одновременно заряжается и накопительный конденсатор С5. При положительном полупериоде измеряемого напряжения транзистор VT1 закрывается, а транзистор VT2 открывается. Теперь образцовый конденсатор разряжается через малое сопротивление открытого транзистора VT2 и диод VD3. Конденсатор С5 разряжается через микроамперметр, поддерживая ток, текущий через него при зарядке образцового конденсатора.

Следующий отрицательный полупериод снова открывает транзистор VT1 и закрывает транзистор VT2, а положительный полупериод переключает их в исходное состояние. И так при каждом периоде измеряемого переменного напряжения. При этом транзистор VT2, закрываясь и открываясь, по отношению к образцовому конденсатору выполняет функцию электронного переключателя. В результате через микроамперметр течет средний ток зарядки образцового конденсатора, пропорциональный частоте измеряемого переменного напряжения.

Подстроечным резистором R6, шунтирующим микроамперметр, устанавливают верхнюю границу частоты поддиапазона.

Какова роль диодов VD1 и VD2, шунтирующих резистор R3 и эмиттерный переход транзистора VT1? Они ограничивают напряжение, подаваемое на эмиттерный переход транзистора VT1, и тем самым предотвращают его тепловой пробой. Эти диоды кремниевые. А кремниевые диоды, как тебе известно, от-

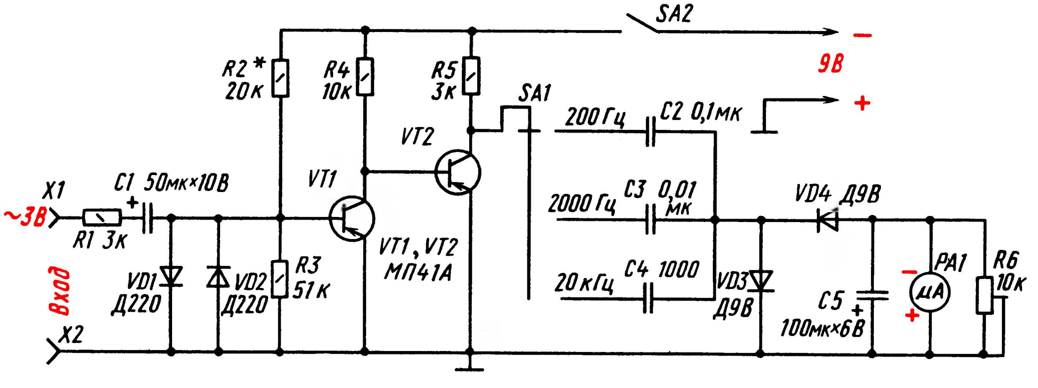


Рис. 276. Принципиальная схема простого транзисторного частотомера

крываются при прямом напряжении 0,6...0,7 В. Пока входной сигнал не превышает это напряжение, диоды закрыты и практически никакого влияния на работу транзистора не оказывают. Когда же входное напряжение становится больше 0,6...0,7 В, диоды открываются (VD1 — при положительных, а VD2 — при отрицательных полупериодах) и поддерживают на базе транзистора напряжение, не превышающее 0,7...0,8 В.

Резистор R1 на входе частотомера предотвращает протекание через диоды VD1 и VD2 опасных для них больших токов.

Питать частотомер можно от двух батарей 3336 или, что лучше, стабилизированным напряжением сетевого блока питания.

Транзисторы должны быть со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$ не менее 60...80 и с возможно малым обратным током коллекторного перехода $I_{КБО}$. Если среди имеющихся у тебя низкочастотных не окажется транзисторов с такими параметрами, то используй для частотомера маломощные высокочастотные p-n-p транзисторы, например серий ГТ308, ГТ310, П401, П416. Диоды VD1 и VD2 должны быть кремниевыми, например серий Д101, Д102, Д104, Д223, а диоды VD3 и VD4 — любые из серии Д9 или Д2. Оксидные конденсаторы С1 и С5 типа К50-3, К50-6 или К52-1. Подстроечный резистор R6 может быть любого типа. Микроамперметр на ток полного отклонения стрелки 50 или 100 мкА. Переключатель SA1 — одноплатный галетного типа, SA2 — тумблер или П2К.

Шкала измерителя частотомера линейная, общая для всех трех поддиапазонов. Поэтому емкости образцовых конденсаторов С2 — С4 должны быть возможно более точными — от этого зависит точность производимых измерений. Отобрать конденсаторы необходимых емкостей можно с помощью измерителя RCL.

Предварительно частотомер смонтируй и испытай на макетной панели. Из образцовых конденсаторов включи пока (без переключателя SA1) только конденсатор С2. Проверь полярность включения всех оксидных конденсаторов, диодов и микроамперметра. Затем движок подстроечного резистора R6 установи в крайнее нижнее (по схеме) положение, а резистор R1 временно замени цепочкой из последовательно соединенных переменного резистора сопротивлением 30...40 кОм и постоянного сопротивлением 4...5 кОм. Включи питание и на вход частотомера подай переменное напряжение электроосветительной сети, пониженное трансформатором до нескольких вольт. Можно, например, как показано на рис. 277, *а*, использовать вторичную обмотку сетевого трансформатора блока питания, подключив к ней потенциометром регулировочный переменный резистор $R_р$, и с его помощью устанавливать напряжение, подаваемое на вход частотомера. Подбором сопротивления временной цепочки резисторов нужно добиться устойчивого отклонения стрелки микроамперметра при минимальном напряжении (0,3 В) на входе частотомера.

После этого на вход частотомера подай от того же регулировочного резистора $R_р$ переменное напряжение, выпрямленное двухполупериодным выпрямителем (рис. 277, *б*), не сглаживая его пульсаций. В этом случае частота пульсаций напряжения на входе частотомера будет 100 Гц, что соответствует удвоенной частоте переменного напряжения сети. Теперь стрелка микроамперметра должна отклониться на бо́льший угол, чем при частоте напряжения 50 Гц. Движок подстроечного резистора $R_р$ установи в такое положение, при котором стрелка микроамперметра окажется немного левее середины шкалы. Отметка, сделанная на шкале, будет соответствовать частоте 100 Гц, а вся шкала — частоте 200 Гц.

Затем еще раз подай на вход частотомера переменное напряжение с регулировочного резистора и отметь на дуге шкалы микроамперметра положение ее стрелки. Оно будет соответствовать частоте 50 Гц. Таким образом, у тебя получатся две исходные отметки, не считая нулевой и конечной, по которым можно проградуировать шкалу поддиапазона 20...200 Гц. Она же будет и шкалой двух других поддиапазонов. Надо только при включении образцового конденсатора С3 (0,01 мкФ) результат измерения умножать на 10, а при

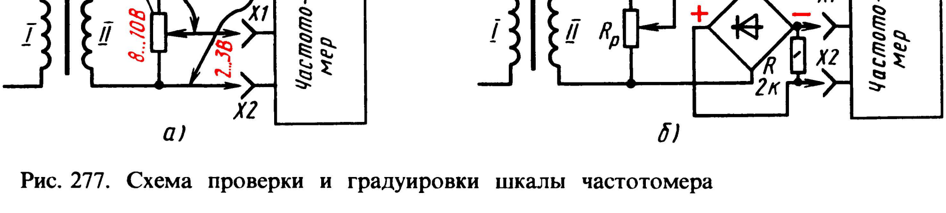


Рис. 277. Схема проверки и градуировки шкалы частотомера

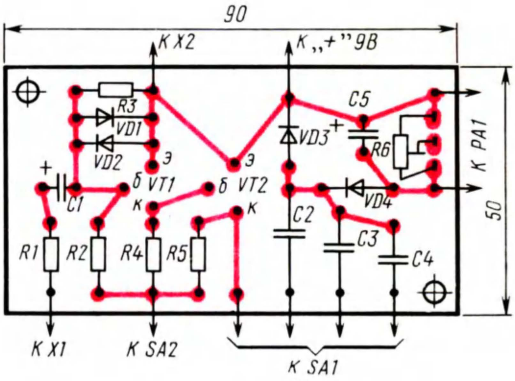

90
К X2
К „+" 9В
R3
VD1
VD2
э
б
VT1
к
э
б
VT2
к
C1
R1
R2
R4
R5
VD3
C5
R6
C2
C3
C4
VD4
К PA1
50
К X1
К SA2
К SA1

Рис. 278. Монтажная плата частотомера

включении образцового конденсатора С4 (1000 пФ) — на 100. Чтобы знать, на каком поддиапазоне включен частотомер, возле ручки переключателя SA1 сделай пометки «×1», «×10» и «×100».

Конструкция частотомера зависит от размеров и того положения микроамперметра (горизонтального или вертикального), при котором он должен работать. В принципе же она может быть такой, как у транзисторного вольтметра постоянного тока. На лицевой панели будут микроамперметр, входные гнезда, переключатель поддиапазонов и выключатель питания. Остальные детали можно смонтировать на плате размерами примерно 90×50 мм (рис. 278) и укрепить ее на зажимах микроамперметра.

Уточнить градуировку шкалы, особенно верхнюю границу частоты (200 Гц), можно по сигналам генератора колебаний звуковой частоты.

Схема частотомера второго варианта показана на рис. 279. Переменное напряжение синусоидальной формы, частоту которого надо измерить, подают через входные гнезда X1 и X2, резистор R1 и конденсатор C1 на базу транзистора VT1 для предварительного усиления. Режим работы транзистора по постоянному току, соответствующий режиму усиления, устанавливают подбором резистора R2. Кремниевый диод VD1 на входе прибора ограничивает отрицательное напряжение на эмиттерном переходе транзистора до 0,7...0,8 В. Резистор R1 в этой цепи предотвращает протекание через диод опасного для него тока при повышенном входном напряжении. В целом же входная часть этого частотомера подобна такой же части первого его варианта.

Логические элементы DD1.1, DD1.2 и резисторы R5 — R7 образуют триггер Шмитта — устройство, преобразующее переменное напряжение синусоидальной формы, поступающего на его вход от усилителя, в электрические импульсы такой же частоты. За триггером Шмитта следует формирователь его выходных импульсов положительной полярности, от частоты следования которых зависят результаты показания микроамперметра PA1. Без формирователя прибор не даст достоверных результатов измерения, потому что длительность импульсов на выходе триггера Шмитта зависит от частоты.

Работает формирователь импульсов следующим образом. Его элемент DD1.3 включен инвертором, а элемент DD1.4 используется по своему прямому назначению — как логический элемент 2И-НЕ. Как только на входе формирователя (выводы 9, 10 элемента DD1.3) появляется напряжение низкого уровня, элемент

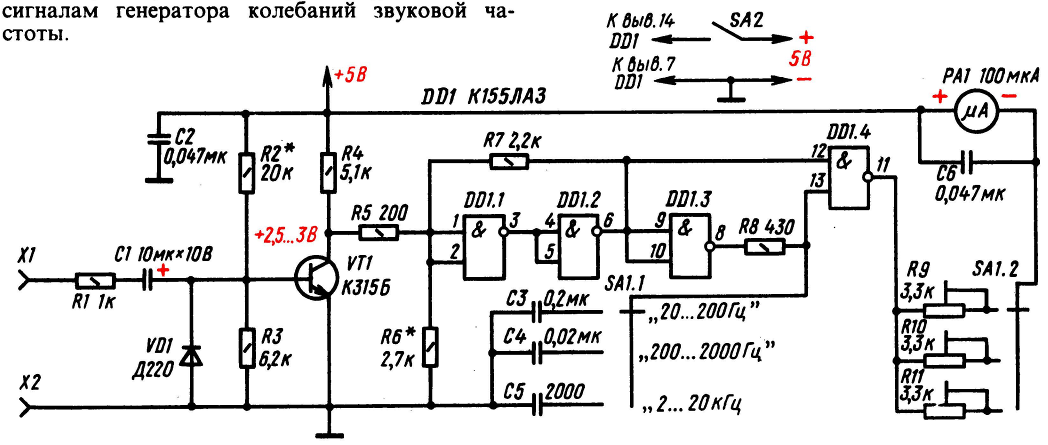

К выв.14 DD1
SA2
+
К выв.7 DD1
5В
−
+5В
DD1 К155ЛА3
PA1 100мкА
+
μA
−
C2 0,047мк
R2* 20к
R4 5,1к
R7 2,2к
DD1.4
12
13
&
11
C6 0,047мк
DD1.1
DD1.2
DD1.3
R5 200
+2,5...3В
1
2
&
3
4
5
&
6
9
10
&
8
R8 430
X1
C1 10мк×10В
+
R1 1к
VT1 К315Б
SA1.1
C3 0,2мк
C4 0,02мк
C5 2000
„20...200Гц"
„200...2000Гц"
„2...20кГц"
R6* 2,7к
VD1 Д220
X2
R3 6,2к
R9 3,3к
R10 3,3к
R11 3,3к
SA1.2

Рис. 279. Схема частотомера на микросхеме К155ЛА3

DD1.3 переключается в единичное состояние и через него и резистор R8 заряжается один из конденсаторов C3—C5. По мере зарядки конденсатора положительное напряжение на выводе 13 элемента DD1.4 повышается до высокого уровня. Но этот элемент остается в единичном состоянии, так как на втором его входном выводе 12, как и на выходе триггера Шмитта, низкий уровень напряжения. В таком режиме через микроамперметр протекает незначительный ток.

С появлением на выходе триггера Шмитта напряжения высокого уровня элемент DD1.4 переключается в нулевое состояние и через микроамперметр начинает протекать значительный ток. Одновременно элемент DD1.3 переключается в нулевое состояние, и конденсатор формирователя начинает разряжаться. Когда напряжение на нем снизится до порогового, элемент DD1.4 вновь переключится в единичное состояние. Таким образом, на выходе формирователя появляется импульс отрицательной полярности, в течение которого через микроамперметр протекает ток, значительно больший, чем начальный. Угол отклонения стрелки микроамперметра пропорционален частоте следования импульсов: чем она больше, тем на больший угол отклоняется стрелка.

Длительность импульсов на выходе формирователя определяется продолжительностью разрядки включенного времязадающего конденсатора (C3, C4 или C5) до напряжения срабатывания элемента DD1.4. Чем меньше его емкость, тем короче импульс, тем большую частоту входного сигнала можно измерить. Так, с времязадающим конденсатором C3 емкостью 0,2 мкФ прибор способен измерять частоту колебаний ориентировочно от 20 до 200 Гц, с конденсатором C4 емкостью 0,02 мкФ — от 200 до 2000 Гц, с конденсатором C5 емкостью 2000 пФ — от 2 до 20 кГц. Подстроечными резисторами R9—R11 стрелку микроамперметра устанавливают на конечную отметку шкалы, соответствующую наибольшей измеряемой частоте поддиапазона. Минимальный уровень переменного напряжения, частоту которого можно измерить, около 0,5 В.

Постоянные резисторы, используемые в частотомере, могут быть МЛТ-0,5 или МЛТ-0,125, подстроечные — СПО-0,15 или СП3-16 сопротивлением 2,2...3,3 кОм. Конденсатор C1 — К50-6 или К53-1, C3 — МБМ или КБ, C4 и C5 — КМ или КСО. Емкости конденсаторов C3—C5 должны быть возможно близкими к указанным на схеме, причем каждый из них можно составить из двух-трех конденсаторов. Подобрать же их тебе поможет измеритель RCL. Переключатель поддиапазонов SA1 — галетный 3П3Н или другой с двумя секциями на три положения. Микроамперметр PA1 — на ток полного отклонения стрелки 100...200 мкА.

Возможная конструкция и монтажная плата частотомера показаны на рис. 280.

Сверив монтаж с принципиальной схемой, включи питание и подбором резистора R2 установи на коллекторе транзистора VT1 напряжение, равное 2,5...3 В. Затем установи переключатель SA1 в положение «20...200 Гц» и подай от генератора колебаний ЗЧ сигнал минимальной частоты или сигнал от обмотки сетевого трансформатора, понижающей напряжение до нескольких вольт (как на рис. 277, *а*). При этом стрелка микроамперметра должна отклониться на некоторый угол от нулевой отметки шкалы. Чем больше частота входного сигнала, тем на больший угол должна отклоняться стрелка прибора, что будет свидетельствовать о работоспособности частотомера. Если, однако, микроамперметр не реагирует на входные сигналы, придется поточнее подо-

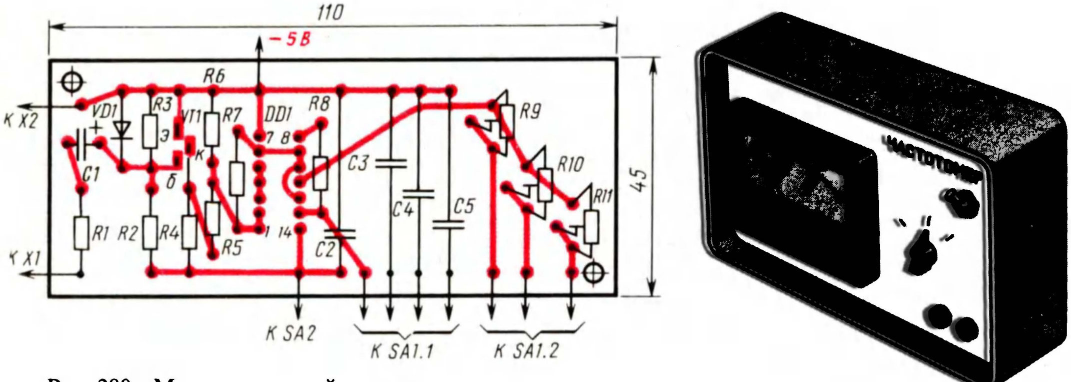


Рис. 280. Монтаж деталей и возможная конструкция частотомера

брать резистор R6; его сопротивление может быть в пределах 1,8...5,1 кОм.

Шкала частотомера (как и у первого варианта) — общая для всех поддиапазонов измерения и практически равномерная. Поэтому надо только определить начальную и конечную границы шкалы применительно к одному из них — к поддиапазону «20...200 Гц», после чего подогнать под нее границы частот двух других поддиапазонов измерения. В дальнейшем при переключении прибора на поддиапазон «200...2000 Гц» результат измерений, считанный по шкале, будешь умножать на 10, а при измерении в поддиапазоне «2...20 кГц» — на 100.

Техника градуировки такова. Переключатель SA1 установи в положение измерения в поддиапазоне «20...200 Гц», движок подстроечного резистора R9 — в положение наибольшего сопротивления и подай на вход частотомера от звукового генератора сигнал частотой 20 Гц, напряжением 0,5...1 В. Сделай на шкале отметку, соответствующую углу отклонения стрелки микроамперметра. Затем звуковой генератор перестрой на частоту 200 Гц и подстроечным резистором R9 установи стрелку прибора на конечную отметку шкалы. После этого по сигналам звукового генератора сделай на шкале отметки, соответствующие частотам 30, 40, 50 и т. д. до 190 Гц. Позже эти участки шкалы раздели еще на несколько частей, каждая из которых будет соответствовать численному значению частоты измеряемого сигнала.

Затем частотомер переключи на второй поддиапазон измерений, подай на его вход сигнал частотой 2000 Гц и подстроечным резистором R10 установи стрелку микроамперметра на конечную отметку шкалы. После этого на вход прибора подай от генератора сигнал частотой 200 Гц. При этом стрелка микроамперметра должна установиться против начальной отметки шкалы, соответствующей частоте 20 Гц первого поддиапазона. Точнее установить ее на эту исходную отметку шкалы можно заменой конденсатора C4 или подключением параллельно ему второго конденсатора, несколько увеличивающего их общую емкость.

Аналогично подгоняй под шкалу микроамперметра границы третьего поддиапазона измеряемых частот 2...20 кГц.

Возможно, пределы измерения частоты на поддиапазонах получатся иные или ты захочешь изменить их. Делай это подбором конденсаторов C3 — C5.

Ты, конечно, не мог не заметить, что в частотомерах обоих вариантов используется микроамперметр на ток полного отклонения стрелки 100 мкА — такой же, как измерительный прибор миллиампервольтомметра, положившего начало твоей измерительной лаборатории. Невольно напрашивается вопрос: нельзя ли тот микроамперметр использовать и для частотомера? Конечно, можно! Для этого надо лишь сделать в комбинированном приборе отводы от микроамперметра, через которые к нему можно было бы подключать соответствующий участок цепи частотомера.

* * *

Полагаю, что приборов и пробников, описанных в этой и седьмой беседах, вполне достаточно для грамотного подхода к конструированию как той аппаратуры, о которой я рассказывал ранее, так и той, которая тебя ожидает впереди. Но в принципе разговор о радиоизмерительной технике еще будет продолжен. В семнадцатой беседе, например, я расскажу о цифровом частотомере — приборе современного поколения, который, надеюсь, в твоей измерительной лаборатории займет должное место.

В будущем надо подумать об электронном осциллографе. Его, видимо, придется приобрести наша промышленность выпускает несколько типов малогабаритных осциллографов, предназначаемых для радиолюбителей. С его помощью ты сможешь не только производить разнообразные электро- и радиотехнические измерения, но и наблюдать и анализировать процессы, происходящие в различных цепях аппаратуры.

БЕСЕДА ШЕСТНАДЦАТАЯ

СТЕРЕОФОНИЯ

Разговор о технике воспроизведения грамзаписи у нас уже был ранее, например в двенадцатой беседе, посвященной усилителям ЗЧ. Но тогда речь шла о монофоническом, т. е. одноканальном звуковоспроизведении. Сейчас же у любителей музыки все большей популярностью пользуется более эффективный двухканальный способ воспроизведения грамзаписи — стереофонический. Ему-то и посвящается эта беседа.

СТЕРЕОЭФФЕКТ. ЧТО ЭТО ТАКОЕ?

Однажды мне довелось послушать хорошую стереофоническую запись, сделанную на автодроме. Помню: где-то справа появляется звук работающего двигателя автомобиля. Нарастая, звук прямо передо мной становится рокочущим и, быстро затухая, уносится влево. Долго, видимо, я не забуду этот звуковой эффект движущегося с огромной скоростью гоночного автомобиля. Это и есть стереоэффект.

Приходилось ли тебе бывать на концертах больших симфонических оркестров? В такие дни концертные залы до предела заполняются любителями музыки. Оказавшись здесь, ты как бы погружаешься в море звуков, наполняющих огромный концертный зал.

А если то же музыкальное произведение, исполняемое тем же оркестром, слушать в записи на монофонической грампластинке, пользуясь электрофоном или радиолой? Эффект будет не тот. Потеряется объемность звучания. И если как следует прислушаться, то создастся впечатление, будто все музыкальные инструменты оркестра не могут «втиснуться» в небольшой объем громкоговорителя. Да, при таком способе воспроизведения грамзаписи невозможно представить себе пространственное расположение источников звука. К выходу усилителя электрофона или радиолы можно подключить несколько громкоговорителей, размещенных в разных углах комнаты. Но ощущения объемности звучания музыкального произведения все равно не получится, ибо звуковоспроизведение остается одноканальным.

Иное дело — стереофоническое звуковоспроизведение, когда запись музыкального произведения и последующее воспроизведение его происходят с помощью двухканальной аппаратуры. На такой способ звуковоспроизведения, придающий звуку объемность, и рассчитаны стереофонические грампластинки.

В чем суть стереофонии? При таком способе звукозаписи перед симфоническим или эстрадным оркестром устанавливают на некотором расстоянии два микрофона (или две группы микрофонов), каждый из которых соединен со своим усилителем звукозаписывающей аппаратуры. Тот из микрофонов, что находится слева (если на оркестр смотреть спереди), принято называть микрофоном левого канала, а правый — микрофоном правого канала звукозаписи.

Воспроизведение стереофонической грамзаписи осуществляется с помощью стереофонического звукоснимателя и двух усилителей ЗЧ с самостоятельными громкоговорителями, расположенными перед слушателем на некотором расстоянии один от другого. Левый (от слушателей) громкоговоритель — громкоговоритель левого канала звуковоспроизведения, правый — громкоговоритель правого канала.

Музыкальные инструменты или солисты, являющиеся источниками звуковых колебаний, находятся на разных расстояниях от микрофонов, поэтому и сила их звучания в громкоговорителях различная. Звуковые колебания, кроме того, доходят до микрофонов хотя и с небольшой, но все же с разной задержкой по времени. В результате у слушателя создается представление не только о пространственном расположении источников звуков, но и их перемещении. Так, например, если солист во время исполнения песни передвигается по сцене, приближаясь то к одному, то к другому микрофону, то и сила звучания его голоса в громкоговорителях изменяется. А это создает иллюзию перемещения голоса солиста в пространстве между громкоговорителями. Когда же солист находится на равных расстояниях от микрофонов и создаваемые им звуковые колебания с одинаковой силой воздействуют на оба микрофона, то его голос звучит между громкоговорителями.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ЗВУКОСНИМАТЕЛЬ

Что, кроме двухканального усилителя ЗЧ, надо иметь для воспроизведения стереофонической грамзаписи? Электропроигрывающее устройство (ЭПУ) со стереофоническим звукоснимателем, например типа IIЭПУ-52С. Внешний вид звукоснимателя с тонармом, установленным на таком ЭПУ, показан на рис. 281, *а*. Сам звукосниматель — пьезокерамический. Он находится в передней головке тонарма. Тонарм со звукоснимателем опускают на вращающуюся грампластинку с помощью рычажка, находящегося под ним.

Звуковая канавка стереофонической грампластинки «хранит» двухканальную запись звука: правого и левого каналов. Звуковые бороздки каналов нанесены раздельно на стенки канавки под углом 45° к плоскости грампластинки. Для воспроизведения записи обоих каналов стереофонический звукосниматель имеет два пьезокерамических элемента с одной общей иглой, вырабатывающих раздельные сигналы обоих каналов.

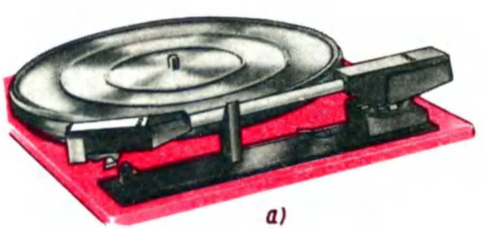
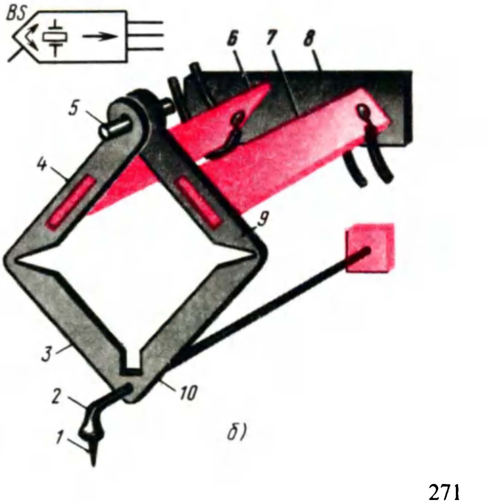


Рис. 281. Внешний вид (*а*), графическое обозначение и устройство (*б*) пьезокерамического стереофонического звукоснимателя



Устройство механизма пьезокерамического стереофонического звукоснимателя в упрощенном виде изображено на рис. 281, *б*. В нем, как видишь, два пьезоэлемента: 6 — элемент правого канала, 7 — элемент левого канала. Задними (по схеме) концами пьезоэлементы неподвижно укреплены на стойке 8, а передними — в тягах 4 и 9, которые могут смещаться относительно оси 5. В свою очередь, эти тяги эластично связаны с тягами 3 и 10, а через них — с рычагом иглодержателя 2 с иглой 1.

Во время проигрывания грампластинки рычаг иглодержателя колеблет тяги из стороны в сторону вокруг оси 5 и изгибает пьезоэлементы. При этом они создают раздельные для каждого канала низкочастотные сигналы, которые усиливаются «своими» усилителями ЗЧ и преобразуются в звук их громкоговорителями.

Характерная особенность в символике графического звукоснимателя — две взаимно перпендикулярные стрелки и три вывода; средний вывод является общим для сигналов обоих каналов.

СТЕРЕОФОНИЯ НА ГОЛОВНЫЕ ТЕЛЕФОНЫ

Практическое знакомство с сущностью и способами воспроизведения стереофонической грамзаписи можно начать с конструирования сравнительно простого устройства, выполненного по структурной схеме, приведенной на рис. 282. Устройство состоит из двух усилителей ЗЧ (УЗЧ-1, УЗЧ-2), на входы которых поступают сигналы от звукоснимателя BS1, и двух телефонов, подключенных к выходам усилителей; УЗЧ-1 и телефон BF1 образуют левый канал, а УЗЧ-2 и телефон BF2 — правый канал стереофонического устройства.

Принципиальную схему возможного варианта такого устройства, рассчитанного на совместную работу с пьезокерамическим звукоснимателем и низкоомными головными или самодельными стереотелефонами, ты видишь на рис. 283. Общий «заземленный» проводник цепей питания делит ее на две симметричные части. Детали верхней части схемы образуют левый канал, а детали нижней части — правый канал стереофонического устройства. Таким образом, его основу составляют два идентичных усилителя с самостоятельными входами и выходами. Общими являются только звукосниматель BS1, батарея питания GB1 и конденсатор C9, шунтирующий батарею по переменному току.

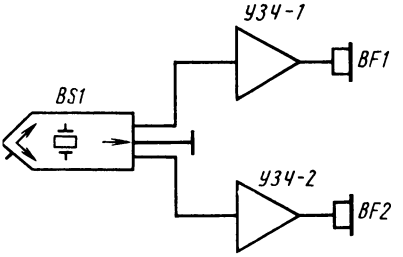


Рис. 282. Структурная схема усилителя для воспроизведения стереофонических грамзаписей на головные телефоны

Поскольку оба канала стереоусилителя совершенно одинаковы, то разберем работу лишь одного из них, например левого. Сигнал от звукоснимателя через разъем X1 поступает на переменный резистор R1, выполняющий функцию регулятора громкости, а от него через конденсатор C1 на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя. Усилитель трехкаскадный на транзисторах разной структуры: VT1 — VT3 — n-p-n, VT4 — p-n-p. Все транзисторы, в том числе и транзисторы двухтактного выходного каскада, включены по схеме ОК, т. е. работают эмиттерными повторителями. В целом, таким образом, он является усилителем мощности.

С резистора R3, являющегося нагрузкой транзистора VT1 первого каскада, сигнал через конденсатор C3 поступает на базу транзистора VT2 второго каскада, а с его нагрузочного резистора R7 — непосредственно на базы транзисторов VT3 и VT4 третьего, двухтактного каскада. Усиленный по мощности сигнал через конденсатор C4 подается к телефону BF1 и преобразуется им в звук. Режим работы транзистора первого каскада устанавливают подбором резистора R2, режимы транзисторов двух других каскадов — подбором резистора R5. Подбором резистора R6, являющегося частью нагрузки транзистора VT2, устраняют искажения типа «ступенька». Резистор R4 и конденсатор C2 образуют ячейку развязывающего фильтра, предотвращающую возбуждение усилителя.

Напряжение сигнала, развиваемого на низкоомном телефоне (8...10 Ом), не превышает напряжения, поступающего на вход усилителя от звукоснимателя. Но сигнал в тысячи раз усилен по мощности, поэтому телефон звучит достаточно громко.

Точно так работает и правый канал этого в общем-то простого стереоусилителя.

Резисторы R1 и R8 на входе усилителя являются не только регуляторами громкости. С их помощью, кроме того, устанавливают одинаковые уровни сигналов на выходах каналов, т. е., как говорят, осуществляют сте-

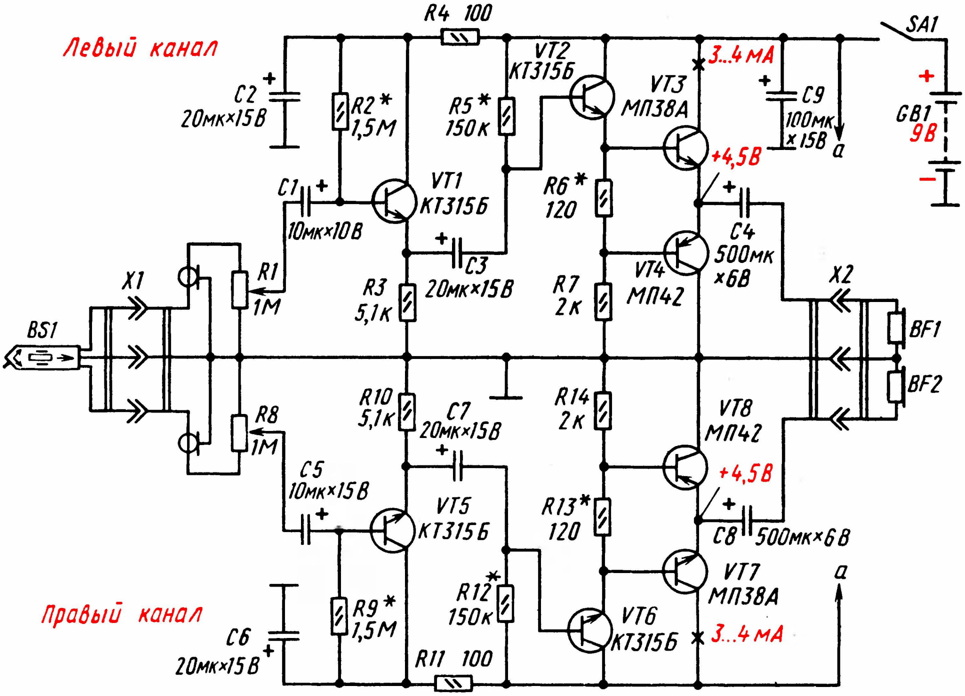

Левый канал
R4 100
SA1
C2
20мк×15В
R2*
1,5М
R5*
150к
VT2
КТ315Б
VT3
МП38А
3...4 мА
C9
100мк
×15В
a
GB1
9В
+4,5В
C1
10мк×10В
VT1
КТ315Б
R6*
120
C4
500мк
×6В
C3
20мк×15В
R3
5,1к
R7
2к
VT4
МП42
X1
R1
1М
X2
BS1
BF1
BF2
R10
5,1к
C7
20мк×15В
R14
2к
VT8
МП42
R8
1М
C5
10мк×15В
+4,5В
VT5
КТ315Б
R13*
120
C8
500мк×6В
VT7
МП38А
a
R9*
1,5М
R12*
150к
Правый канал
C6
20мк×15В
VT6
КТ315Б
3...4 мА
R11 100

Рис. 283. Принципиальная схема стереоусилителя

реобаланс. Без стереобаланса эффект объемности звучания стереозаписи пропадает.

Источником питания устройства служат две батареи 3336, соединенные последовательно. Ток, потребляемый от них обоими каналами усилителя, не превышает 25...30 мА. Работоспособность усилителя сохраняется при снижении напряжения батареи до 6 В.

Все детали и узлы усилителя, включая и батарею питания, можно разместить в корпусе из двух дюралюминиевых пластин, согнутых наподобие буквы П (рис. 284, *б*). П-образная крышка, скрепленная двумя винтами с основанием такой же формы, образует коробку с внешними размерами 150×110×50 мм. Переменные резисторы R1, R8 и гнездовая часть входного разъема X1 находятся на передней стенке, а гнездовая часть выходного разъема X2 и выключатель питания SA1 — на задней стенке основания. Монтажная плата усилителя и батарея питания укреплены на горизонтальной площадке основания, снизу которой прикреплены резиновые ножки. Монтаж деталей на плате может быть навесным или печатным — все зависит от твоего желания и наличия деталей.

Переменные резисторы R1 и R8 типа СП-I группы А или В (должны быть одинаковыми), постоянные резисторы — МЛТ-0,125 или МЛТ-0,25. Оксидные конденсаторы типа К50-6; выключатель питания SA1 — тумблер ТВ2-1.

Стереотелефоны BF1 и BF2 типа ТДС-1 (телефоны электродинамические стереофонические) или самодельные, о возможной конструкции которых я расскажу чуть позже.

Пары транзисторов VT1 и VT5, VT2 и VT6, а также транзисторы VT3, VT4 и VT7, VT8 желательно отобрать с возможно близкими параметрами $h_{21э}$. В выходных каскадах германиевые транзисторы МП38А можно заменить на кремниевые КТ315Б, а МП42 на КТ361Б. Но в этом случае сопротивление резисторов R6 и R13, подбираемых при налаживании, должно быть значительно больше.

Каналы усилителя налаживай раздельно. Предположим, первым будет левый канал. В таком случае обесточь транзисторы правого канала усилителя, подключи к выходу телефоны, движок резистора R1 поставь в крайнее нижнее (по схеме) положение, а параллельно разомкнутым контактом выключателя питания SA1 подключи миллиамперметр, чтобы измерить

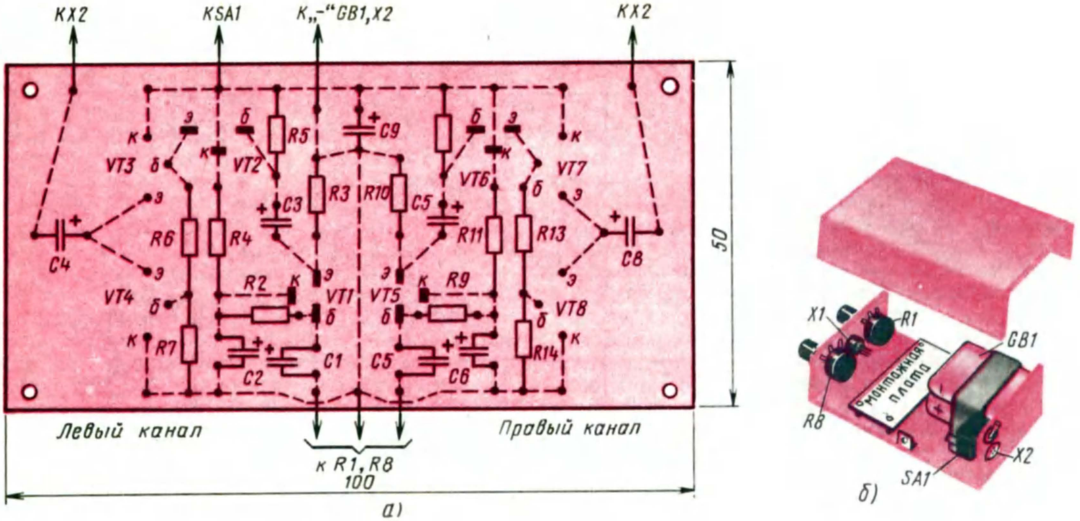


Рис. 284. Монтажная плата усилителя (*а*) и размещение его деталей в корпусе (*б*)

общий ток, потребляемый левым каналом усилителя. Этот ток не должен быть больше 12...15 мА. Значительно больший ток будет указывать на возможную ошибку в монтаже или чрезмерно большое сопротивление резистора R6. Затем, включив питание тумблером SA1, подбором резистора R5 установи на эмиттерах транзисторов VT3 и VT4 (в точке симметрии) напряжение 4,5 В, т. е. равное половине напряжения батареи питания, а подбором резистора R6 — ток покоя в коллекторной цепи транзистора VT3, равный 3...4 мА.

При замене резистора R6 источник питания выключай, иначе транзисторы VT3 и VT4 могут оказаться поврежденными из-за теплового пробоя p-n переходов. После этого подбором резистора R2 установи на эмиттере транзистора VT1 напряжение, также равное половине напряжения источника питания. Если теперь движок переменного резистора R1 установить в крайнее верхнее (по схеме) положение и пальцем коснуться его вывода, в телефоне появится значительный звук низкой тональности.

Когда точно так же наладишь правый канал усилителя, подключи к его входу звукосниматель и проиграй грампластинку со стереофонической записью музыкального произведения. При вращении ручек переменных резисторов R1, R8 в противоположные стороны звук будет появляться и нарастать то в левом, то в правом телефоне. При стереобалансе резисторами звук воспринимается как объемный. В этом и заключается преимущество стереоэффекта перед монофоническим звуковоспроизведением звука.

Корпус готового усилителя можно покрасить серой нитроэмалью или оклеить декоративной поливинилхлоридной пленкой.

Теперь о стереотелефонах. К сожалению, в магазинах, торгующих радиотоварами, промышленные стереотелефоны, например типа ТДС-1, бывают пока что редко, а спрос на них непрерывно растет. И если тебе не удастся приобрести их, то придется конструировать подобные стереотелефоны самому.

В популярной радиотехнической литературе, и в частности в журнале «Радио», описано немало разных по сложности любительских стереотелефонов, конструируемых на базе малогабаритных широкополосных динамических головок прямого излучения или электродинамических микрофонов. Расскажу тебе о наиболее простой, на мой взгляд, конструкции стереотелефонов, предложенной минским радиолюбителем Е. Мицкевичем.

Внешний вид этих стереотелефонов показан на рис. 285, а детали одного из излучателей и конструкция оголовья — на рис. 286. В качестве излучателей использованы динамические головки 1ГД-39Е со звуковыми катушками сопротивлением 8 Ом. Чтобы улучшить звучание телефонов на низших частотах звукового диапазона, каждую головку необходимо доработать — аккуратно вырезать лезвием безопасной бритвы бо́льшую часть гофра, оставив лишь

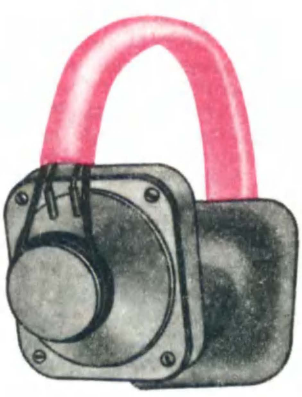


Рис. 285. Самодельные стереофонические головные телефоны

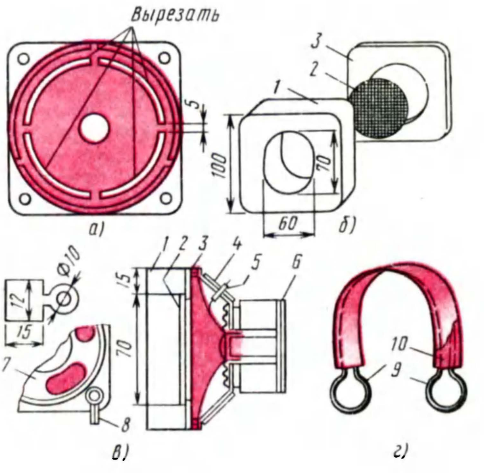


Рис. 286. Детали излучателей головных телефонов

четыре полоски шириной по 5 мм (рис. 286,*а*). Эти полоски следует пропитать смазкой ГОИ-54И или вазелином. Для большей гибкости подвески диффузора можно еще подрезать центрирующую шайбу головки, сделав в ней скальпелем четыре таких же надреза, как в диффузоре. Затем из головок надо осторожно удалить держатели выводов звуковых катушек и отпаять их контактные лепестки.

Для каждой головки вырежь из кожи кольцо 4 (рис. 286,*в*) с внутренним диаметром 50 мм и наружным 98 мм и заклей им сзади отверстия диффузородержателя 7. В кольце в том месте, где были держатели лепестков, проделай два отверстия под выводы звуковой катушки. Позже к выводам звуковой катушки припаяешь соединительный шнур и вставишь в эти отверстия трубочки 5 из изоляционного материала.

Из такой же кожи или кожезаменителя вырежь еще два кружка 6 по диаметру магнитов головок и наклей их на магниты с наружной стороны. После этого займись акустическим оформлением головок, от которого также зависит качество звучания будущих стереофонических головных телефонов. Из фанеры толщиной 4...5 мм вырежь основание 3 точно по контуру диффузородержателя (рис. 286,*б*), а в центре основания выпили лобзиком отверстие диаметром 60 мм. Декоративную решетку 2 диаметром 70 мм сделай из любого перфорированного материала, например из радиоткани или тонкой металлической сетки, и приклей ее к основанию. Далее из мягкой пористой резины или поролона толщиной 25 мм вырежь амбюшуры 1. Для лучшего прилегания телефонов к ушам отверстия в амбюшурах должны иметь форму эллипса.

Основание скрепи с диффузородержателем 7 шурупами (рис. 286,*в*). Для крепления соединительного проводника на корпусе головки сделай из жести держатель 8. Затем к основанию приклей амбюшур. Оголовье 9 (рис. 286,*г*) сделай из сталистой проволоки толщиной 2...3 мм. Верхнюю часть оголовья проложи поролоном 10 или войлоком и обшей кожей, предварительно пропустив внутрь обшивки соединительные проводники.

Для подключения стереотелефонов к выходу усилителя на конце соединительных проводников телефонов должен быть штепсель, соответствующий гнездовой части выходного разъема X2 усилителя. В таких стереотелефонах вместо головок 1ГД-39Е можно использовать головки 1ГД-50, обладающие более широкой частотной характеристикой. Качество звучания головных телефонов при этом улучшится.

Впрочем, для самодельных стереотелефонов пригодны многие другие малогабаритные динамические головки со звуковыми катушками сопротивлением 8...10 Ом, например 0,2ГД-1, 0,5ГД-20. Надо только по возможности смягчить подвески диффузоров головок, чтобы улучшить звучание телефонов на низких частотах, и выполнить акустическое оформление, соответствующее используемым головкам.

Опыт сборки и налаживания аппаратуры для индивидуального прослушивания стереофонических грамзаписей на головные телефоны поможет тебе перейти к конструированию более мощного усилителя для громкого воспроизведения стереозаписей.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

В принципе для воспроизведения стереофонической грамзаписи на громкоговорители можно использовать два одинаковых усилителя ЗЧ, обладающих чувствительностью 100...200 мВ и выходной мощностью 1...3 Вт. Целесообразнее, однако, конструировать двухканальный усилитель, рассчитанный на совместную работу с пьезокерамическим звукоснимателем ЭПУ.

Рекомендую тебе сравнительно простой стереофонический усилитель, разработанный радиолюбителем Г. Крыловым из подмосковного города Пущино. Этот усилитель я называю простым потому, что в нем мало транзисторов и отсутствуют некоторые узлы и детали, характерные для многих любительских и промышленных стереофонических усилителей. В нем, например, нет специального регулятора стереобаланса (стереобаланс устанавливают регуляторами громкости каналов усилителя), нет регуляторов тембра звука, требующих дополнительного усиления стереофонического сигнала и применения дефицитного блока переменных резисторов. Все это делает рекомендуемый усилитель более доступным для повторения.

Принципиальная схема усилителя показана на рис. 287. Транзисторы VT1 — VT4 и динамические головки BA1 и BA2 громкоговорителя образуют левый канал, а транзисторы VT5 — VT8 и головки BA3 и BA4 — правый канал усилителя. Каналы, как видишь, совершенно одинаковые. Общими для обоих каналов является только разъем X1, через который ко входу усилителя подключают стереофонический звукосниматель BS1, и сетевой блок питания. При напряжении источника питания 22 В номинальная выходная мощность каждого канала равна 1 Вт, максимальная 2 Вт. Чувствительность около 200 мВ. Рабочий диапазон частот от 50 до 15 000 Гц.

Разберем работу лишь одного из каналов усилителя, например левого. Он трехкаскадный, с непосредственной связью между транзисторами. Транзистор VT1 первого каскада — полевой, транзистор VT2 второго каскада — маломощный низкочастотный структуры n-p-n, транзисторы третьего, выходного, каскада низкочастотные средней мощности разных структур (VT3 — p-n-p, VT4 — n-p-n).

Через гнездовую колодку разъема X2 к выходу усилителя подключены последовательно соединенные головки BA1 и BA2 громкоговорителя этого канала.

Ты знаешь, что полевой транзистор обладает очень большим входным сопротивлением и практически не шунтирует источник усиливаемого сигнала. Это позволяет пьезокерамический звукосниматель, внутреннее сопротивление которого большое, подключать ко входу усилителя без каких-либо дополнительных каскадов. В описываемом усилителе сигнал от звукоснимателя подается на затвор полевого транзистора VT1 через переменный резистор R1, выполняющий функцию регулятора громкости. Положительное напряжение смещения на затворе транзистора создается автоматически током истока, текущим через резистор R3. Роль нагрузки стока этого транзистора выполняет эмиттерный p-n переход транзистора VT2 второго каскада. Сигнал, усиленный этим каскадом, подается непосредственно на базы транзисторов VT3 и VT4, работающих в двухтактном усилителе мощности. Через оксидный конденсатор C2 колебания звуковой частоты поступают к головкам BA1, BA2 и преобразуются ими в звуковые колебания.

Чтобы устранить искажения типа «ступенька», возникающие в двухтактном усилителе, на базы их транзисторов относительно эмиттеров необходимо подавать напряжения смещения, открывающие транзисторы. В описываемом усилителе начальные напряжения смещения на базах транзисторов VT3 и VT4 создаются падением напряжения на диоде VD1, включенном в коллекторную цепь транзистора VT2 в прямом направлении. Всего на диоде падает 0,25 В. Следовательно, на базе каждого из транзисторов выходного каскада относительно его эмиттера действует напряжение смещения, равное 0,12...0,13 В.

Диод VD1 одновременно выполняет роль элемента, термостабилизирующего работу транзисторов выходного каскада. Происходит это следующим образом. Диод вмонтирован между транзисторами выходного каскада, которые во время работы нагреваются сами и нагревают окружающие их детали. От этого изменяется и температура корпуса диода. С повышением температуры прямое сопротивление диода, а значит, и падение напряжения на нем уменьшаются, соответственно уменьшаются напряжения смещения на базах и токи коллекторных цепей выходных транзисторов. И наоборот, с понижением температуры, когда прямое сопротивление диода возрастает, напряжения смещения и коллекторные токи транзисторов тоже несколько увеличиваются. В результате независимо от колебаний температуры режим работы транзисторов выходного каскада остается практически неизменным.

Коротко о назначении других деталей усилительного канала. Резистор R5 стабилизирует режим работы транзистора VT2, а шунтирующий его конденсатор C1 уменьшает местную отрицательную обратную связь по переменному

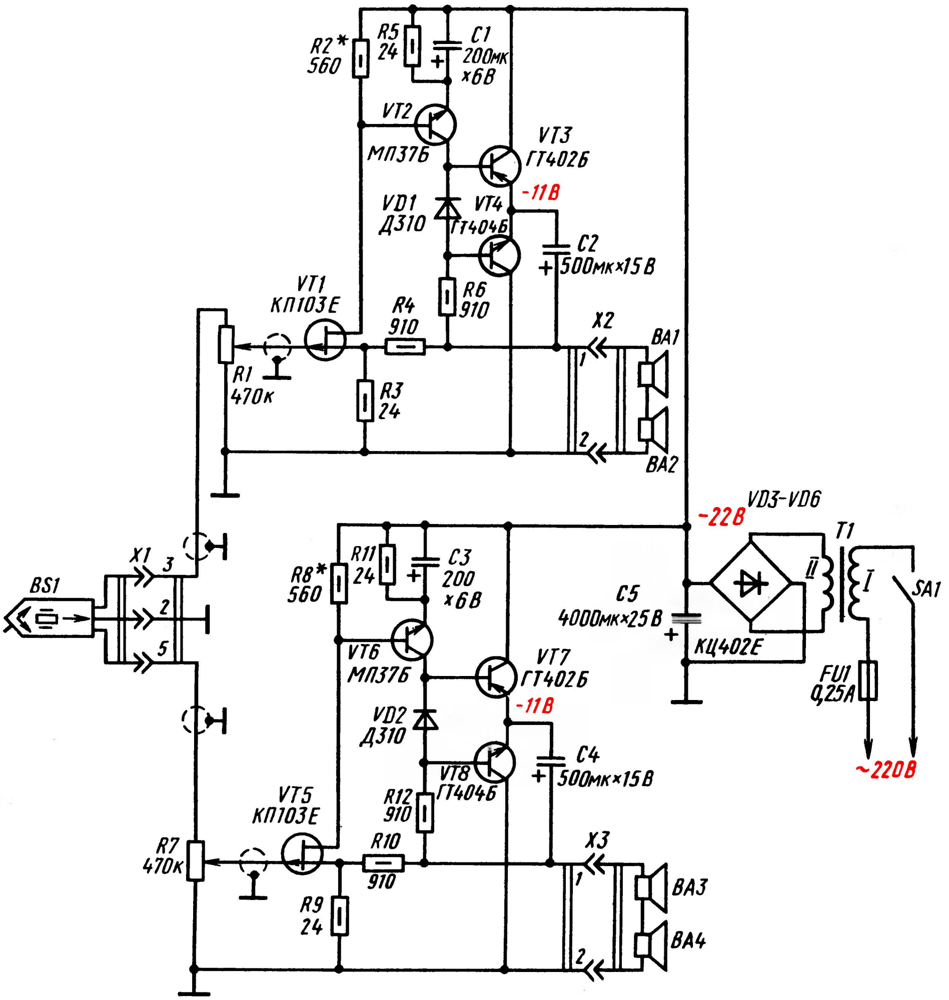

R2* 560
R5 24
C1 200мк ×6В
VT2 МП37Б
VT3 ГТ402Б
-11В
VD1 Д310
VT4 ГТ404Б
C2 500мк×15В
VT1 КП103Е
R4 910
R6 910
X2
BA1
R1 470к
R3 24
1
2
BA2
VD3-VD6
-22В
T1
II
I
SA1
C5 4000мк×25В
КЦ402Е
FU1 0,25А
~220В
X1
3
2
5
BS1
R8* 560
R11 24
C3 200 ×6В
VT6 МП37Б
VT7 ГТ402Б
-11В
VD2 Д310
C4 500мк×15В
VT8 ГТ404Б
R12 910
VT5 КП103Е
R10 910
X3
R7 470к
R9 24
1
2
BA3
BA4

Рис. 287. Схема стереофонического усилителя

току, снижающую усиление этого каскада. Резистор R4 создает между выходом усилителя и истоком транзистора первого каскада отрицательную обратную связь, охватывающую усилитель в целом и улучшающую его частотную характеристику.

Блок питания обоих каналов образуют сетевой трансформатор T1 и выпрямительный блок, диоды VD3 — VD6 которого включены по мостовой схеме. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором C5 (соединены параллельно два конденсатора емкостью по 2000 мкФ каждый).

Теперь о конструкции и деталях усилителя. Внешний вид усилителя и размещение деталей в его корпусе (верхняя стенка снята) показаны на рис. 288, а монтажная плата одного из каналов (левого) и схема соединения деталей на ней — на рис. 289. Корпус, внешние размеры которого 170 × 100 × 75 мм, состоит из шести пластин листового дюралюминия толщиной 2 мм, соединенных в единую конструкцию винтами, ввинченными в резьбовые отверстия в металлических стойках сечением 10 × 10 и длиной 75 мм. Нижняя, боковые и верхняя стенки имеют вентиляционные отверстия. Снизу привинчены резиновые ножки.

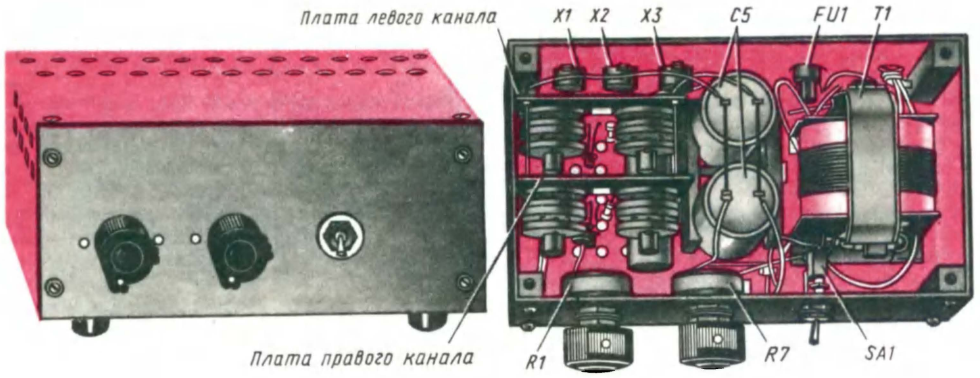

Плата левого канала
X1
X2
X3
C5
FU1
T1
Плата правого канала
R1
R7
SA1

Рис. 288. Внешний вид усилителя и размещение деталей в его корпусе (вид сверху)

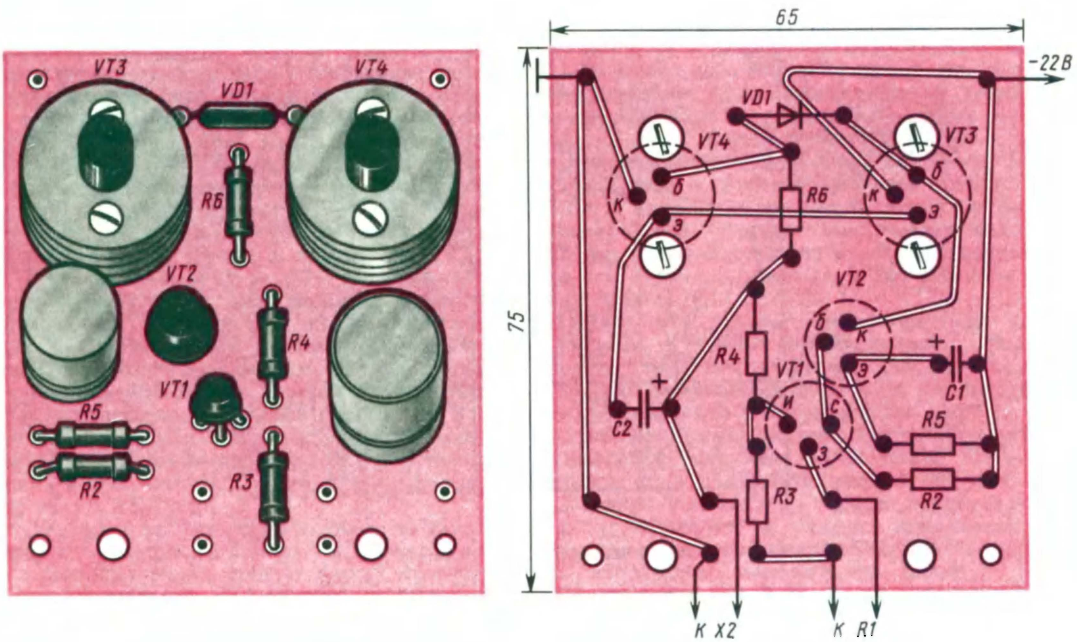

VT3
VT4
VD1
R6
VT2
R4
VT1
R5
R2
R3
65
75
-22В
VD1
VT4
VT3
к
б
э
R6
VT2
б
к
э
+
C1
C2
+
R4
VT1
и
с
з
R5
R2
R3
К X2
К R1

Рис. 289. Монтажная плата левого канала усилителя

Детали каждого из каналов усилителя смонтированы на плате размерами 75×65 мм, вырезанной из листового гетинакса толщиной 1,5 мм. Опорными точками монтажа служат пустотелые заклепки, развальцованные в отверстиях в плате. Транзисторы выходного каскада установлены на теплоотводящих радиаторах. Конструкция радиатора показана на рис. 290. Он состоит из двух ребристых дисков, выточенных на токарном станке из дюралюминия. Стянутые вместе винтами М3 (в верхнем диске отверстия диаметром 3,2 мм для винтов не имеют резьбы), они плотно зажимают между собой выступающий поясок транзистора.

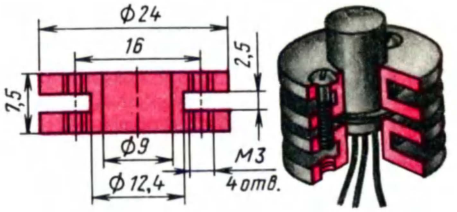


Рис. 290. Теплоотводящий радиатор транзистора выходного каскада

Монтажные платы обоих каналов усилителя скреплены наподобие этажерки с помощью двух стяжек. Сетевой трансформатор T1 и конденсаторы фильтра выпрямителя C5 жестко укреплены на нижней стенке корпуса, выпрямительный блок КЦ402Е — на стойке возле трансформатора, выключатель питания (тумблер МТ-1) и переменные резисторы — на передней, а держатель предохранителя типа ДПБ с плавким предохранителем на ток 0,25 А и гнездовые части входного и выходных разъемов — на задней стенке корпуса.

Все постоянные резисторы типа МЛТ-0,5, переменные резисторы R1 и R7 — СП-I, оксидные конденсаторы — К50-6. Гнездовая часть разъема X1 типа СГ-5, разъемов X2 и X3 — СГ-3. Нумерация выводных контактов разъемов указана на принципиальной схеме.

Полевые транзисторы КП103Е можно заменить аналогичными им транзисторами КП103Ж, транзисторы МП37Б — транзисторами МП37А со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21\text{э}}$ не менее 25, ГТ402Б и ГТ404Б — соответственно на ГТ402А и ГТ404А или (что лучше) на ГТ402Г и ГТ404Г. В блоке питания выпрямительный блок КЦ402Е можно заменить четырьмя диодами серии Д226 или Д7 с любым буквенным индексом, включив их по мостовой схеме. А смонтировать их можно на гетинаксовой пластинке.

Сетевой трансформатор T1 блока питания самодельный, его можно выполнить на магнитопроводе ШЛ16 × 20 мм. Первичная обмотка I рассчитана на напряжение сети 220 В и содержит 2200 витков провода ПЭВ-1 0,2, вторичная — 180 витков провода ПЭВ-1 0,67. Можно применить унифицированный трансформатор ТН32 127/220-50 или другой трансформатор, понижающая обмотка которого рассчитана на напряжение 18...20 В при токе не менее 0,4 А.

Головки BA1 и BA2 громкоговорителя левого канала, а также BA3 и BA4 правого канала типа 1ГД-40Р или подобные им динамические головки мощностью 1 Вт. Головки надо смонтировать в дощатых или фанерных ящиках (как громкоговоритель переносной радиолы), причем звуковые катушки головок громкоговорителей должны быть включены синфазно. Как это сделать, я расскажу позже. Длина соединительных двужильных проводов со штепсельными частями разъемов на концах для подключения громкоговорителей к усилителю должна быть не менее 2 м.

Усилитель в общем-то простой, тем не менее перед включением питания обязательно сверь монтаж его каналов и блока питания с принципиальной схемой, проверь надежность подключения громкоговорителей к выходам каналов. Если детали предварительно проверены и нет ошибок в монтаже, то все налаживание сведется только к измерению напряжения на выходе блока питания и установке режимов работы транзисторов каждого канала.

Для проверки одного из каналов, например при неполадках в нем, регулятор громкости второго канала полностью выведи, но питание и громкоговоритель от него не отключай.

Включив питание, сразу же измерь напряжение на выходе выпрямителя (на конденсаторе C5). Оно в зависимости от данных вторичной обмотки трансформатора может быть несколько больше или, наоборот, меньше. Запомни это значение, затем подбором резисторов R2 и R8 установи на эмиттерах выходных транзисторов (относительно общего заземленного провода) напряжения, равные половине напряжения на выходе выпрямителя.

После этого ко входу усилителя подключи стереофонический звукосниматель и, проигрывая грампластинку, проверь на слух качество звуковоспроизведения и плавность регулирования громкости в каждом канале. При одинаковых положениях движков переменных резисторов R1 и R7 громкость звука в громкоговорителях обоих каналов должна быть примерно одинаковой и плавно нарастать при вращении ручек резисторов в направлении движения часовой стрелки.

Как я уже сказал, головки в громкоговорителе должны быть включены синфазно. Проверить синфазность включения можно следующим способом. Смотря на диффузоры обеих головок, кратковременно подключи к штырькам 1 и 2 соединительной вилки разъема батарею 3336. В момент подключения батареи диффузоры обеих головок громкоговорителя должны перемещаться в одну и ту же сторону — вперед или, наоборот, втягиваться в их магнитные системы. Если будет так, значит, они работают синфазно. При перемещении диффузоров в момент подключения батареи в разные стороны поменяй местами соединительные проводники одной из головок.

В то же время громкоговорители обоих каналов должны быть включены синфазно. Это значит, что при одной и той же полярности

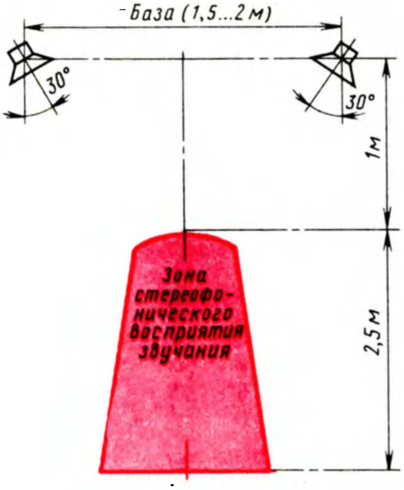


Рис. 291. Схема размещения громкоговорителей

источника сигнала диффузоры их головок должны перемещаться в одну сторону. Проверяй это также с помощью батареи 3336. Если при одной и той же полярности подключения батареи диффузоры головок одного громкоговорителя перемещаются в одну сторону, а диффузоры головок второго громкоговорителя в другую, то поменяй местами подключение соединительных проводов на штепсельной вилке разъема одного из громкоговорителей.

Но стереоэффект воспринимается только при вполне определенном расположении слушателя по отношению к громкоговорителям, что объясняется так называемой бинауральной направленностью нашего слуха.

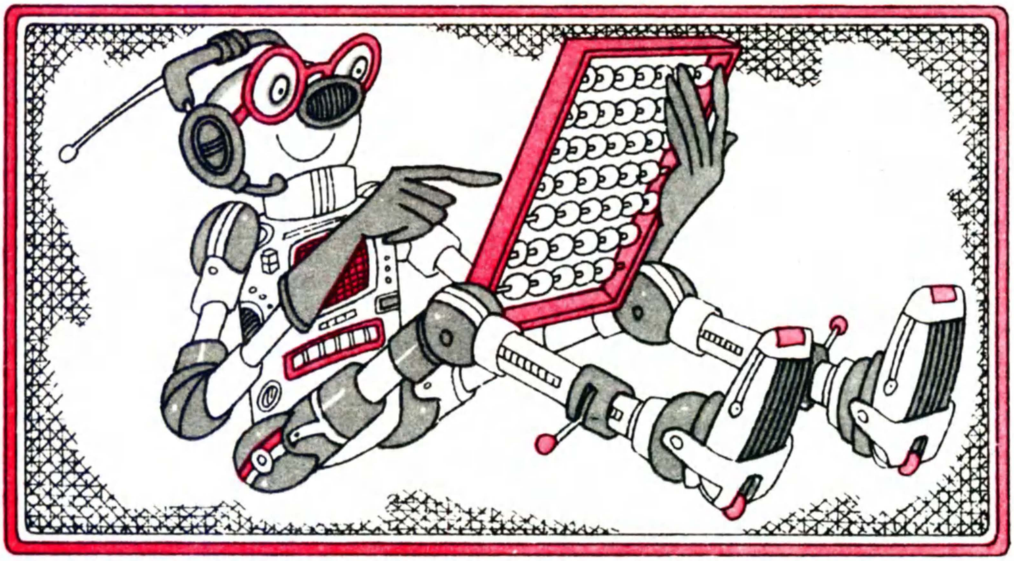
Многочисленные опыты и эксперименты показывают, что стереоэффект лучше всего воспринимается на расстоянии от громкоговорителей, равном их базе, т. е. расстоянию между ними. Установлено также, что зона стереоэффекта будет максимальной, когда база громкоговорителей равна 1,5...2 м и они повернуты в сторону слушателя примерно на угол 30°. Схематически эти условия изображены на рис. 291. Учитывая их, опытным путем найди в комнате место размещения стереофонического комплекса.

Если комната квадратная, то громкоговорители можно разместить возле любой из стен. В том же случае, если комната прямоугольная, то громкоговорители лучше всего разместить в средней части одной из длинных стен.

А каково должно быть расстояние громкоговорителей от пола? Это зависит от многих обстоятельств, в том числе от их внешнего оформления, рабочей полосы частот и мощности усилителя, индивидуальных особенностей слухового восприятия. Определи это опытным путем. Наилучший эффект будет, видимо, при размещении громкоговорителей на высоте 1,5...2 м от пола.

⁂

Я убежден: после создания стереофонического комплекса в твоем доме совсем по-иному зазвучит музыка. И не исключено, что у тебя появится желание сделать более мощный усилитель с регуляторами стереобаланса, тембра звука. Осуществить это желание тебе поможет соответствующая литература, журнал «Радио».



БЕСЕДА СЕМНАДЦАТАЯ

ОТ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ—К ЦИФРОВОМУ ЧАСТОТОМЕРУ

В девятой беседе я познакомил тебя с работой и несколькими конкретными примерами возможного применения логического элемента 2И-НЕ—характерного представителя цифровых микросхем малой степени интеграции. Теперь начинаем разговор о некоторых микросхемах повышенной степени интеграции, пользующихся у радиолюбителей наибольшей популярностью. Это прежде всего триггеры, счетчики импульсов, счетчики-делители частоты импульсного напряжения, дешифраторы, на базе которых можно строить разные по сложности и назначению измерительные приборы, электронные автоматы, бытовые и многие другие устройства цифровой техники. Практическим завершением этой беседы будет частотомер с цифровой индикацией результатов измерения, который пополнит твою лабораторию прибором современного поколения. Но прежде чем начать практическое освоение этих микросхем функционального назначения, надо решить вопрос, касающийся их источника питания. Для опытов с логическими элементами и питания простейших устройств на них можно было обходиться батареей 3336. Но микросхемы серии К155 рассчитаны на питание от источника напряжением 5 В±5%, т. е. на напряжение в пределах 4,75...5,25 В. При меньшем напряжении микросхемы работают недостаточно устойчиво. Для питания микросхем и устройств на них можно, конечно, пользоваться сетевым блоком питания с регулируемым выходным напряжением. Но для питания цифровых индикаторов частотомера потребуется еще источник постоянного или пульсирующего тока напряжением 180...200 В. Поэтому считаю целесообразным, как бы забегая вперед, уже сейчас смонтировать блок питания частотомера (см. схему на рис. 309 и описание на с. 299) и пользоваться им для опытного изучения микросхем и питания самого будущего измерительного прибора.

Понадобятся также индикаторы уровней напряжений, позволяющие судить о логических состояниях микросхем, и, конечно, генератор испытательных импульсов переменной частоты.

ИНДИКАТОР УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Чтобы знать, напряжение высокого или низкого уровня действует на входе или выходе опытного логического элемента, ты пользовался вольтметром постоянного тока. Вольтметр тогда выполнял функцию индикатора электрического состояния элемента. Тебя интересовало не само значение напряжения, фиксируемого вольтметром, а лишь наличие на выходе высокого или низкого уровней напряжения. В принципе такой метод определения электрического состояния микросхемы можно применять и в дальнейшем. Но, на мой взгляд, удобнее пользоваться простыми пробниками-индикаторами, характеризующими световыми сигналами состояние того или иного логического элемента, микросхемы.

Вот два таких индикатора (рис. 292), которые можно смонтировать на одной небольшой плате и пользоваться ими раздельно или одновременно. Первый из них состоит из светодиода VD1 (полупроводникового диода, излучающего свет при пропускании через него постоянного тока) и резистора R1, ограничивающего ток, текущий через светодиод. Общий проводник индикаторов, снабженный зажимом типа «крокодил», подключают к общему проводнику цепи питания микросхемы, а щупом А касаются ее выходного вывода (так же, как вольтметр на рис. 161). Если на этом выводе напряжение высокого уровня, то светодиод начинает светиться, а если низкого — не загорается. Вот и вся логика действия этого индикатора: «да» или «нет».

Светодиоды, выпускаемые нашей промышленностью, рассчитаны на работу от источника постоянного тока напряжением 2...3 В при прямом токе 10...20 мА. При более высоком напряжении может произойти тепловой пробой p-n перехода светодиода. Чтобы этого не случилось, последовательно со светодиодом обязательно включают ограничительный резистор.

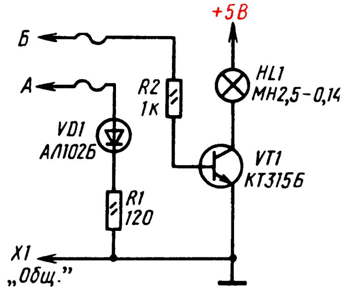


Рис. 292. Пробник логических состояний микросхемы

В индикаторе можно использовать любой другой светодиод и, конечно, любого цвета свечения.

Второй индикатор образуют транзистор VT1, миниатюрная лампа накаливания HL1 в его коллекторной цепи и щуп Б с резистором R2 в базовой цепи. Транзистор, питающийся от того же источника, что и микросхема, работает в режиме переключения, т. е. как электронный ключ. Когда на выводе микросхемы, к которому подключен щуп индикатора, напряжение низкого уровня, транзистор закрыт и лампочка в его коллекторной цепи не горит. Если, однако, на этом выводе микросхемы напряжение высокого уровня, то транзистор открывается и сигнальная лампочка загорается и будет светиться, пока уровень напряжения не сменится на низкий.

Транзистор должен быть обязательно кремниевым, т. е. открывающимся при напряжении на базе не менее 0,5...0,6 В. Германиевый транзистор здесь непригоден, так как он может открываться и при напряжении низкого уровня. Резистор R2 ограничивает значение тока, текущего через эмиттерный переход открытого транзистора.

Если у тебя не окажется светодиода, то первый пробник может быть таким же, как ворой,— транзисторным. При любых обстоятельствах желательно иметь два пробника, чтобы можно было индуцировать уровни напряжений одновременно в двух точках.

В дальнейшем индикатор независимо от того, светодиодный он или транзисторный, я буду обозначать окружностью с буквой «И» внутри.

ГЕНЕРАТОР ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Исходным вариантом этого устройства (рис. 293) служит генератор на трех логических элементах 2И-НЕ микросхемы К155ЛА3, знакомый тебе по девятой беседе (см. рис. 162). Но частота следования импульсов того генератора постоянная (около 1 кГц), а этого — переменная, примерно от 0,1 Гц (период колебания 10 с) до 100 кГц. Весь диапазон частот разбит на 6 поддиапазонов, каждый из которых по частоте в 10 раз больше следующего за ним поддиапазона. Включение того или иного поддиапазона осуществляется переключателем SA1, а плавное регулирование периода следования импульсов — переменным резистором R2. Так, при включении в цепь обратной связи

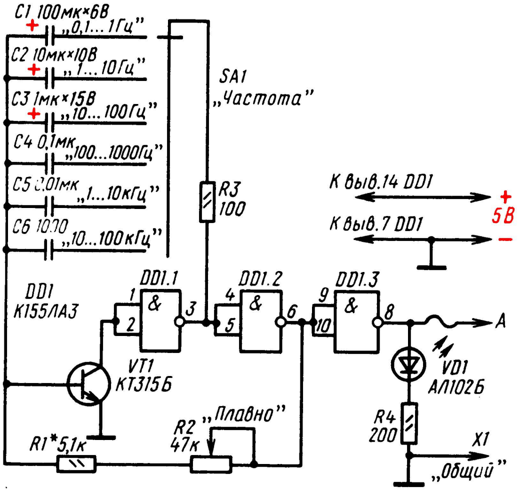

C1 100мк×6В
„0,1...1Гц"
C2 10мк×10В
„1...10Гц"
C3 1мк×15В
„10...100Гц"
C4 0,1мк
„100...1000Гц"
C5 0,01мк
„1...10кГц"
C6 1000
„10...100кГц"
SA1
„Частота"
R3
100
К выв.14 DD1
К выв.7 DD1
+
5В
−
DD1
К155ЛА3
DD1.1
DD1.2
DD1.3
&
1
2
3
4
5
6
9
10
8
A
VT1
КТ315Б
VD1
АЛ102Б
R2
47к
„Плавно"
R1*5,1к
R4
200
X1
„Общий"

Рис. 293. Схема генератора испытательных импульсов

времязадающего конденсатора C1 частота генератора будет ориентировочно от 0,1 до 1 Гц, с конденсатором C2 — от 1 до 10 Гц, с конденсатором C3 — от 10 до 100 Гц и т. д. Особый интерес представляют импульсы большой длительности, позволяющие наблюдать за реакцией на них микросхем.

Характерная особенность этого генератора — использование в нем транзистора вместо первого логического 2И-НЕ (по рис. 162 — DD1.1). Работая как транзисторный ключ, он существенно увеличивает сопротивление цепи обратной связи, что расширяет пределы регулирования периода следования импульсов, и одновременно позволяет уменьшить емкость времязадающих конденсаторов C1 — C6.

Резистор R1 ограничивает базовый ток транзистора. Подбором его номинала можно подгонять максимальное значение периода колебаний генератора. Резистор R3 ограничивает ток через выходной транзистор элемента DD1.1 в моменты, когда на выходе этого элемента появляется напряжение высокого уровня.

Элемент DD1.3, включенный инвертором, улучшает форму генерируемых импульсов. Через щуп А сформированные импульсы подают на вход исследуемой микросхемы. Светодиод, подключенный через резистор R4 к выходу устройства, позволяет судить о частоте следования и длительности импульсов двух первых поддиапазонов генератора.

Внешний вид платы генератора и схема монтажа деталей на ней показаны на рис. 294. Времязадающие конденсаторы C1 — C3 типа К50-6, C4 — C6 — МБМ. Подбирать конденсаторы точно таких емкостей, что указаны на схеме, необязательно, потому что зависящая от них частота следования импульсов не имеет практического значения для твоих опытов с микросхемами. Переменный резистор R2, сопротивление которого может быть значительно больше 47 кОм, может быть любого типа, но желательно с функциональной зависимостью группы А.

Для упрощения конструкции функцию подвижного контакта переключателя поддиапазонов частот выполняет гибкий проводник с отрезком толстой медной проволоки на конце, который вставляют в отверстия гнезд — пустотелых заклепок. Возле этих гнезд должны быть надписи порядковых номеров поддиапазонов или соответствующие им пределы частот.

На плате можно предусмотреть гнезда для подключения к выходу генератора (параллельно светодиодному индикатору) головных телефонов или капсюля ДЭМ-4м для индицирования импульсов звуковой частоты, на которые светодиод не реагирует.

При безошибочном монтаже и надежных пайках соединений деталей генератор никакой настройки не требует. Единственно, что, возможно, придется сделать — уточнить порядок подключения выводов переменного резистора, чтобы частота следования импульсов нарастала

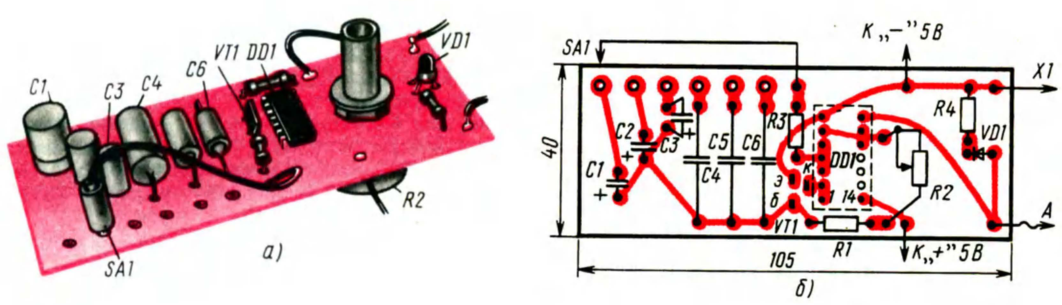

C1
C3
C4
C6
VT1
DD1
VD1
R2
SA1
а)
SA1
К„−"5В
X1
R4
VD1
R3
C2
C3
C5
C6
C4
C1
DD1
K
3
6
1
14
VT1
R1
R2
A
40
105
К„+"5В
б)

Рис. 294. Монтажная плата генератора

при вращении его ручки в направлении движения часовой стрелки.

Перехожу к рассказу о микросхемах, наиболее широко используемых в радиолюбительских устройствах цифровой техники.

ТРИГГЕРЫ

Так называют электронные устройства, обладающие двумя устойчивыми электрическими состояниями. Подчеркиваю: устойчивыми, т. е. состояниями, в которых триггер может находиться сколь угодно времени. Переключение (или переход) триггера из одного устойчивого состояния в другое происходит под воздействием входных импульсов. Каждому из двух состояний триггера соответствует свой фиксированный уровень выходного напряжения, что в вычислительной технике используется для хранения цифровой информации. В свою очередь, триггеры являются основой счетчиков импульсов, делителей частоты, дешифраторов и многих других цифровых микросхем функционального назначения.

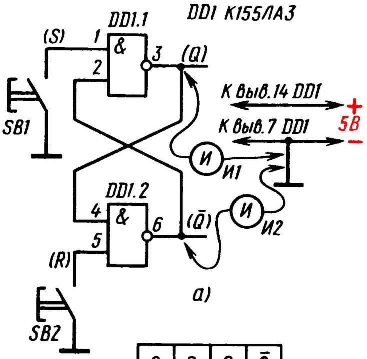
В любительской цифровой технике применяются преимущественно так называемые RS-, D- и JK-триггеры. Распознать, что представляют собой эти логические устройства функционального назначения, каковы их электрические свойства и принципы действия, тебе помогут опыты с ними.

Начнем с самого простого из «семейства» триггеров.

RS-триггер. Схему такого триггера ты видишь на рис. 295, *а*. Его образуют два элемента 2И-НЕ с перекрестными обратными связями между их входами и выходами. У триггера два независимых входа и столько же выходов. Первый вход — вывод 1 элемента DD1.1, второй — вывод 5 элемента DD1.2, а выходы — выводы 3 и 6 этих элементов.

Микросхему К155ЛА3 укрепи на макетной панели (или картонке) с помощью пластилина выводами вверх. Так будет удобнее различать порядковые номера выводов, припаивать к ним проводники источника питания, делать нужные соединения между выводами. К выводам 3 и 6 микросхемы подключи индикаторы, по свечению которых будешь судить о состояниях элементов микросхемы. Индицировать состояния элементов можно, конечно, и с помощью вольтметра постоянного тока, подключая его попеременно к выходам триггера, но это менее удобно. Вместо кнопочных выключателей SB1 и SB2 (без фиксации) можно использовать отрезки монтажного провода, которыми будешь имитировать подачу на входы триггера напряжения отрицательной полярности.

Сверив монтаж опытного триггера с его схемой и убедившись в отсутствии ошибок, в надежности паек, включи питание. Сразу же должен загореться один из индикаторов. Предположим, это будет индикатор И1. Значит, первым в единичном состоянии оказался элемент DD1.1 — на его выводе 3 будет напряжение высокого уровня. А на выходе элемента DD1.2 будет напряжение низкого уровня, поэтому индикатор И2 и не горит.



S	R	Q	Q̄
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	+	+

б)

Рис. 295. Опытный RS-триггер

Записав показания индикаторов, замкни кратковременно контакты кнопки SB1. Что изменилось? Ничего. По-прежнему горит только индикатор И1. А если кратковременно нажать кнопку SB2? Сразу же погаснет первый индикатор и загорится второй. Теперь элемент DD1.1 будет в нулевом состоянии, а DD1.2 — в единичном. В таком состоянии элементы могут находиться сколько угодно времени — до тех пор, пока не выключат питание. Но стоит еще раз нажать кнопку SB1 — и элементы переключатся в противоположное состояние.

Проанализируем действие опытного RS-триггера. Считаем, что после включения питания первым в нулевом состоянии оказался элемент DD1.2. В этот момент, следовательно, и на входном выводе 2 элемента DD1.1, соединенном с выводом 6 элемента DD1.2, появилось напряжение низкого уровня, которое установило элемент в единичное состояние — загорелся индикатор И1. Имитация подачи импульса отрицательной полярности на входной вывод 1 элемента DD1.1 (кнопкой SB1) не могла изменить его состояние, поскольку в это время на втором его входном выводе уже был низкий уровень напряжения.

Когда же ты кратковременно нажал кнопку SB2, на свободный вывод 5 элемента DD1.2 поступил импульс отрицательной полярности. Переключаясь в единичное состояние, этот элемент напряжением высокого уровня, появившимся на его выходе, переключил элемент DD1.1 в нулевое состояние. Переключение этого элемента в нулевое состояние оказалось возможным, так как в этот момент вывод 1 был свободным, что равнозначно подаче на него напряжения высокого уровня.

Так, поочередно нажимая кнопки входных цепей, можно переключать триггер из одного устойчивого состояния в другое и тем самым управлять различными приборами и устройствами цифровой техники, подключенными к его выходам.

Логическое состояние любого триггера характеризуют уровнем сигнала на его так называемом прямом выходе, обозначаемом латинской буквой Q. В нашем RS-триггере его Q-выходом является вывод 3 микросхемы. Если здесь высокий уровень напряжения, значит, триггер в целом находится в единичном состоянии, а если низкий уровень — в нулевом.

При единичном состоянии триггера на его втором выходе будет напряжение низкого уровня, а при нулевом состоянии — высокого. Вот почему этот выход обозначают такой же буквой, но с черточкой вверху — $\bar{Q}$, что означает инверсный.

Входной вывод, через который триггер устанавливают в единичное состояние, обозначают буквой S (начальная буква английского Set — установка). Другой же входной вывод, через который триггер переключают в нулевое состояние, обозначают буквой R (от слова Reset — возврат). Следовательно, в опытном триггере вывод 1 микросхемы можно считать S-входом, а вывод 5 — R-входом.

Строго говоря, входы S и R опытного триггера надо бы писать с черточками вверху, так как полярность импульсов, подаваемых на них для переключения триггера из одного состояния в другое, отрицательная. Они, следовательно, инверсные, т. е. $\bar{S}$ и $\bar{R}$. Такой RS-триггер называют асинхронным с установочными входами.

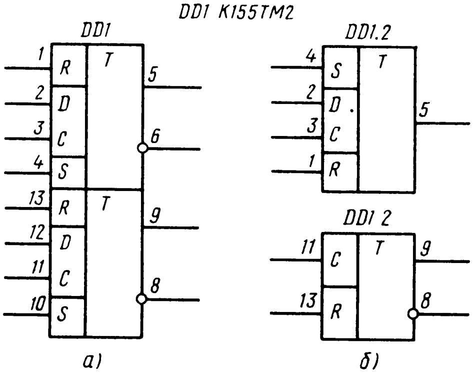
Состояния RS-триггера, в которых он оказывается под воздействием входных сигналов, иллюстрирует таблица, приведенная на рис. 295, *б*. О чем она может рассказать? Если на оба входа триггера подать напряжения низкого уровня, например нажав одновременно обе кнопки, на обоих его выходах будут напряжения высокого уровня. Такое состояние триггера противоречит логике его действия, поэтому подобное сочетание сигналов принято считать недопустимым.

Сочетание напряжений низкого уровня на S-входе и высокого уровня на R-входе приводит триггер в единичное состояние, а противоположное сочетание уровней напряжения — в нулевое. При появлении же на обоих входах напряжения высокого уровня (логической 1) состояние триггера не изменяется — на это указывают крестики в таблице.

Проверь практически справедливость таблицы. Подачу на входы импульсов, соответствующих высокому уровню напряжения, имитируй не замыканием, а, наоборот, размыканием контактов кнопок SB1 и SB2.

D-триггер. Из нескольких разновидностей D-триггеров микросхем серии К155 наибольшей популярностью у радиолюбителей пользуются триггеры микросхемы К155ТМ2 (рис. 296, *а*). В этой микросхеме два D-триггера, связанных между собой общей цепью питания, но работающих независимо один от другого. У каждого из них четыре логических входа и два выхода — прямой и инверсный. Вход D — вход приема цифровой информации, а C — вход тактовых импульсов синхронизации, источником которых обычно служит генератор прямоугольных импульсов. По входам R и S D-триггер работает так же, как RS-триггер: при подаче на вход S напряжения низкого уровня он устанавливается в нулевое состояние, на вход R — в единичное. По входам D и C он может функционировать как ячейка памяти принятой информации или как триггер со счетным входом.

D-триггеры микросхемы К155ТМ2 на принципиальных схемах устройств цифровой техники изображают обычно не слитно, как на рис. 296, *а*, а раздельно в различных участках



а) б)

Рис. 296. Условные графические обозначения D-триггеров

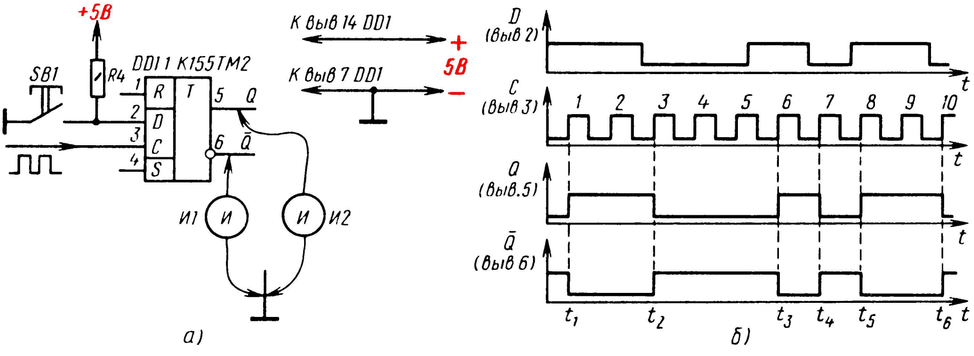


Рис 297. Опыты с D-триггером микросхемы К155ТМ2

схемы (рис. 296, *б*). При этом допускается не показывать выводы, которые в устройстве не используются. Этих правил будем придерживаться и мы.

Предлагаю несколько опытов и экспериментов, которые помогут осмыслить логику действия D-триггера в разных режимах работы.

К выводам прямого и инверсного выходов любого из D-триггеров микросхемы К155ТМ2, например к выводам 5 и 6 (рис. 297, *а*), подключи индикаторы. За появлением и длительностью тактовых импульсов синхронизации, подаваемых на вход C триггера, будешь наблюдать по свечению выходного индикатора генератора импульсов. На панели смонтируй также кнопочный выключатель SB1 и резистор R4, но к входу D (вывод 2) триггера эту цепь пока не подключай.

Сразу же после включения питания должен загореться один из выходных индикаторов. Если это индикатор И2, значит, триггер принял единичное состояние, а если И1 — нулевое. Теперь поочередно кратковременно замкни несколько раз выводы 1 и 4 входов R и S на общую шину питания. Такой опыт тебя убедит, что по этим входам D-триггер работает так же, как RS-триггер.

Далее подключи к выводу 2 информационного входа D резистор R4 с выключателем SB1. Запиши начальное состояние триггера, а затем несколько раз подряд нажми кнопку. Как на это реагирует триггер? Никак — продолжает гореть тот же индикатор.

Кратковременным соединением входа R или S с общим проводником переключи триггер в другое устойчивое состояние и вновь несколько раз нажми кнопку. И теперь, как видишь, триггер не реагирует на входные сигналы. Это происходит потому, что на вход C не поступают синхронизирующие импульсы положительной полярности.

Для опытной проверки работы D-триггера источником тактовых сигналов синхронизации будет служить генератор импульсов переменной частоты, о котором речь шла ранее (см. рис. 294). Соедини его выход с выводом 3 входа C триггера, установи наименьшую частоту следования импульсов и, включив питание, следи за поведением индикаторов. Если до этого триггер находится в нулевом состоянии, а контакты кнопки были разомкнуты, то по фронту первого же импульса на входе C триггер должен переключиться в единичное состояние и не реагировать на последующие импульсы. Но стоит нажать на кнопку, чтобы подать на информационный вход напряжение низкого уровня, и триггер по фронту очередного тактового импульса тут же переключится в противоположное состояние.

Работу D-триггера в таком режиме иллюстрируют графики, приведенные на рис. 297, *б*. Считаем, что в начале опыта, когда контакты кнопки SB1 были еще не замкнуты и, следовательно, сигнал на D-входе соответствовал напряжению высокого уровня, триггер был в нулевом состоянии (на выходе Q — низкий, на выходе Q̄ — высокий уровни напряжения). Первый же импульс на входе C своим фронтом переключил триггер в единичное состояние. На спад этого импульса и на второй импульс триггер не реагировал и сохранял принятое устойчивое состояние.

Затем ты нажал на кнопку, чтобы изменить уровень входного сигнала. В результате третий тактовый импульс своим фронтом сразу же переключил триггер в нулевое состояние, которое сохранялось до прихода шестого импульса, когда ты кнопку отпустил и на входе D уже был сигнал высокого уровня. Далее при изменении уровней входного сигнала триггер переключился в нулевое состояние по

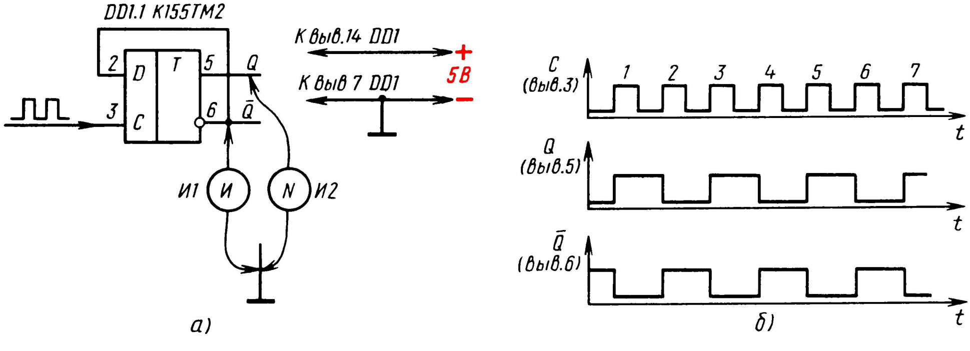


Рис. 298. D-триггер со счетным входом

фронту седьмого импульса, а по фронту восьмого — вновь в единичное.

Эти опыты и графики, характеризующие логику действия D-триггера в режиме приема информации, позволяют сделать выводы: если на входе D сигнал высокого уровня, триггер по фронту тактового импульса на входе C устанавливается в единичное состояние, а если низкого, то в нулевое. На спады синхронизирующих импульсов D-триггер не реагирует. Каждое изменившееся состояние триггера означает запись в его память принятой информации, которая может быть считана или передана для расшифровки другому логическому устройству цифровой техники.

Следующий опыт — испытание D-триггера в режиме счета импульсов, т. е. как триггера со счетным входом. Для этого от входа D отключи резистор R4 с кнопкой и соедини его с инверсным выходом Q̄, как показано на рис. 298, *а*. Теперь информационным входом триггера будет вход C. Подай на него от генератора серию импульсов большой длительности. Как ведет себя D-триггер? По фронту первого же входного импульса он принимает единичное состояние, по фронту второго — нулевое, по фронту третьего — снова единичное и т. д. Следовательно, в таком режиме работы триггер по фронту каждого входного импульса меняет логическое состояние на противоположное. В результате частота импульсов на каждом выходе триггера оказывается вдвое меньшей частоты входных импульсов.

По проведенному опыту построй графики, иллюстрирующие работу D-триггера в этом режиме. Они должны получиться такими же, что и изображенные на рис. 298, *б*. Вывод напрашивается сам — в таком режиме D-триггер делит частоту входного сигнала на 2, т. е. выполняет функцию двоичного счетчика.

JK-триггер. В серии К155 JK-триггером, обладающим, как и D-триггер, расширенной логикой действия, является микросхема К155ТВ1 (рис. 299, *а*). У такого триггера девять входов, прямой и инверсный выходы. По входам R и S он работает так же, как RS- и D-триггеры. Входы J и K — управляющие, причем каждый из них имеет по три входных вывода (3 — 5 и 9 — 11), объединенных по схеме логического элемента 3И, о чем свидетельствуют знаки «&» возле них. Вход C по функциональному назначению подобен одноименному входу D-триггера. В режиме приема и хранения информации он служит входом тактовых импульсов, а в счетном режиме — информационным входом. Выводы JK-триггера, которые в устройстве не используются, на схемах обычно не показывают (рис. 299, *б*).

Опытную проверку работы JK-триггера веди в таком порядке. Микросхему К155ТВ1 соедини с соответствующими проводниками источника питания, а к выводу 12 входа C и выводам 8 и 6 прямого и инверсного выходов подключи-

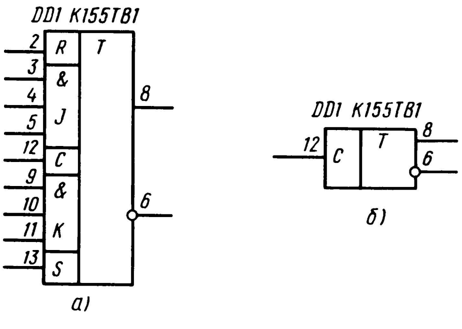


Рис. 299. Условное графическое обозначение JK-триггера К155ТВ1

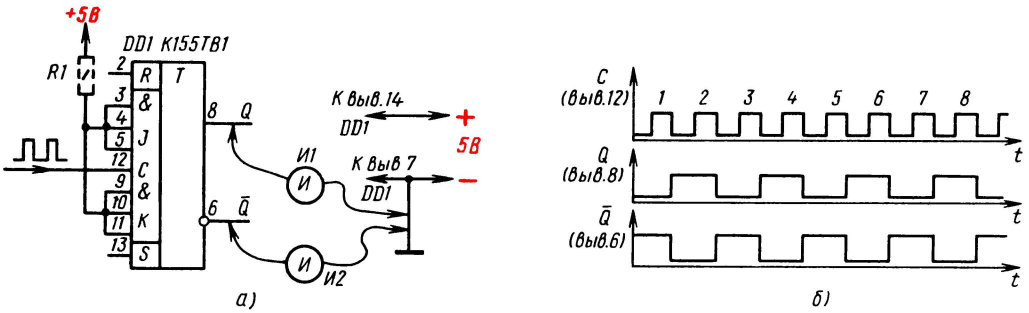


Рис. 300. Опытный JK-триггер

индикаторы (рис. 300, *а*). Включи питание. Сразу же должен загореться один из выходных индикаторов. Замкни кратковременно на общий проводник вывод 2, затем вывод 13, далее снова вывод 2 и т. д. При этом выходные индикаторы должны поочередно зажигаться и гаснуть. Так ты проверишь работоспособность JK-триггера.

Далее испытывай триггер в режиме счета входных импульсов. Для этого объедини выводы всех входов J и K и через резистор R1, показанный на рис. 300, *а* штриховыми линиями, соедини их с плюсовым проводником питания, чтобы подать на них напряжение высокого уровня. Впрочем, как ты уже знаешь, резистор R1 необязателен — на объединенных входах J и K, если их оставить свободными, будет напряжение высокого уровня. На вход C подай от генератора серию импульсов наименьшей частоты и по моментам зажигания и длительности свечения индикаторов построй графики работы триггера в таком режиме. Они должны получиться такими же, что на рис. 300, *б*. Нетрудно заметить, что они схожи с графиками счетного D-триггера (см. рис. 298, *б*), только сдвинуты вправо на длительность одного импульса. Сдвиг этот объясняется тем, что D-триггер изменяет свое состояние на противоположное по фронту, а JK-триггер — по спаду входного импульса. Конечный же результат одинаков: триггер делит частоту входных импульсов на 2.

Запомни основные свойства JK-триггера. При напряжении высокого уровня на всех входах J и K он работает как триггер со счетным входом, т. е. по спаду каждого положительного импульса на тактовом входе C меняет свое логическое состояние на противоположное. Если хотя бы на одном входе J и на одном входе K одновременно действует напряжение низкого уровня, то при подаче на вход C импульсов состояние триггера не меняется. В том же случае, если на всех входах J высокий уровень напряжения, а хотя бы на одном входе K - низкий, то по спаду положительного импульса на входе C триггер устанавливается в единичное состояние независимо от своего предыдущего состояния. Если хотя бы на одном входе J низкий уровень напряжения, а на всех входах K — высокий, то по спаду импульса на входе C триггер устанавливается в нулевое состояние.

Защита от помех. Триггеры, как, впрочем, многие другие микросхемы, чувствительны к различным электрическим помехам. Если, к примеру, коснуться металлическим предметом монтажного проводника, в цепях устройства могут возникнуть импульсные помехи, способные изменить состояние триггеров. Один из приемов борьбы с такими помехами — блокирование цепи питания конденсатором. Конденсаторы подключают и к выходам блоков питания микросхем. В связи с этим запомни на будущее: для надежной работы устройства цифровой техники на их платах между проводниками цепи питания необходимо устанавливать по одному блокировочному конденсатору емкостью 0,033...0,047 мкФ на каждые две-три микросхемы, располагая их равномерно среди микросхем.

Источником помехи может стать и неиспользуемый входной вывод микросхемы, так как в нем тоже могут наводиться паразитные электрические импульсы. Такой вход микросхемы целесообразно вообще ни к чему не подключать, оставив его свободным, или на плате подпаять к контактной площадке минимальных размеров, к которой не подключены какие-либо другие проводники. Неиспользуемые J-входы JK-триггера можно подключать к его инверсному выходу, а K-входы — к прямому выходу. Можно также неиспользуемые входы подключить к выходному выводу неиспользуемого логического элемента И-НЕ, соединив его входы с общим проводом цепи питания.

Кроме того, неиспользуемые входы микросхем можно объединять и подключать их к плюсовому проводнику источника питания через резистор сопротивлением 1...10 кОм.

Совершенно недопустимо подключать к входу микросхемы длинный проводник, который во время работы устройства может оказаться неподключенным к выходу источника управляющего сигнала, например в случае управления устройством с помощью тумблера или кнопочного переключателя. Чтобы предотвратить помехи, такие проводники обязательно надо подключать к плюсовому проводнику цепи питания через резистор сопротивлением 1...10 кОм.

При конструировании приборов и устройств цифровой техники, например различных по назначению автоматов, коммутаторов электрических цепей, в аппаратуре дистанционного управления моделями радиолюбители очень широко используют D- и JK-триггеры, работающие в режиме счета импульсов. Для этого на счетный вход триггера подают импульсы положительной полярности, переключающие триггер из одного логического состояния в другое, а он, в свою очередь, своими выходными сигналами коммутирует другие электрические цепи.

В принципе управлять таким коммутатором можно с помощью любого механического переключателя, например кнопочного или тумблера, но обязательно через дополнительное устройство, устраняющее так называемый «дребезг» контактов, а также предусматривая другие меры.

Что такое дребезг контактов? Так называют паразитный электрический эффект, проявляющий себя в момент соприкосновения поверхностей контактов механического переключателя. Суть этого явления заключается в том, что в этот момент в цепи, в которую контакты включены, возникает серия импульсов длительностью около миллисекунды. Они-то и приводят к ложным срабатываниям триггера и, следовательно, к нарушению его работы.

Для устранения дребезга контактов обычно вводят дополнительный RS-триггер, составленный из двух элементов 2И-НЕ. На рис. 301 такой триггер образуют элементы DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ЛА3. В исходном состоянии на его прямом выходе (вывод 3) — напряжение высокого уровня, на инверсном — низкого. Счетный D-триггер DD2.1 в это время сохраняет состояние, в котором он оказался в момент включения источника питания. При нажатии на кнопку SB1 ее подвижный контакт многократно касается другого, неподвижного контакта, вызывая серию импульсов. Первый же импульс серии переключает RS-триггер в нулевое состояние, и никакой последующий дребезг контактов уже не изменит его. В этот момент на его инверсном выходе возникает скачок напряжения положительной полярности, под действием которого счетный D-триггер DD2.1 изменяет свое логическое состояние на противоположное. При отпускании кнопки на вход элемента DD1.1 вновь подается низкий уровень напряжения и RS-триггер переключается в исходное состояние. Счетный же D-триггер может вернуться в исходное состояние лишь при повторном нажатии на кнопку SB1.

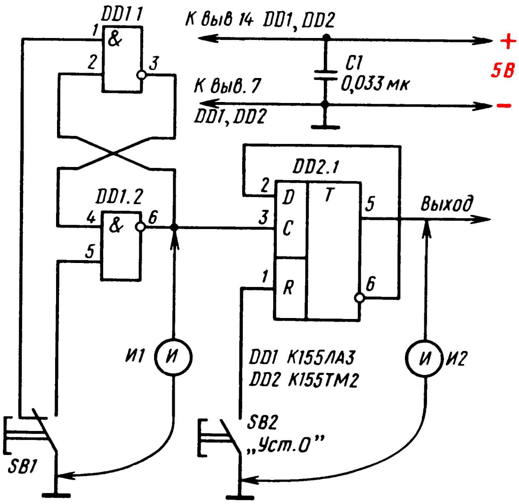


Рис. 301. Коммутирующее устройство с RS-триггером на входе

Индикаторы И1 и И2 позволяют визуально наблюдать за состояниями и работой триггеров и делать соответствующие выводы. Кнопка SB2 позволяет устанавливать D-триггер в нулевое состояние, а управляющие сигналы можно снимать с любого из его выходов (выводы 5 и 6).

В таком устройстве может, конечно, работать и счетный JK-триггер.

Триггеры в сочетании с логическими элементами и транзисторами радиолюбители широко используют в конструируемых ими разных по сложности электронных переключателях автоматически действующих бытовых устройств, игровых автоматах, аттракционах, имитаторах звуков. О некоторых таких устройствах я расскажу тебе в следующей беседе. Сейчас же поговорим о счетчиках импульсов и делителях частоты.

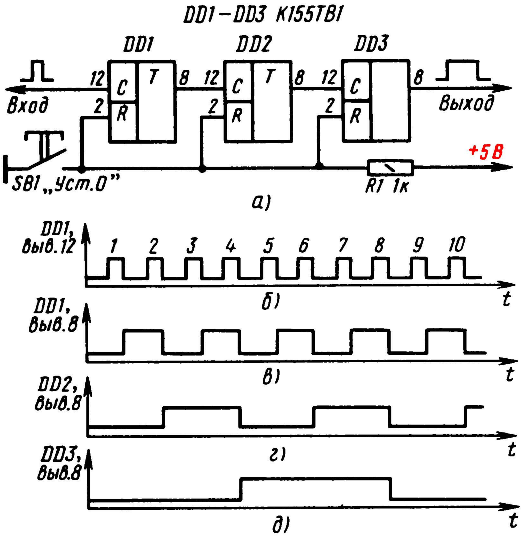
СЧЕТЧИКИ ИМПУЛЬСОВ И ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Я уже говорил, что основу счетчиков составляют триггеры со счетным входом. По логике же действия и функциональному назначению счетчики импульсов подразделяют на цифровые счетчики и счетчики-делители частоты. Первые из них принято называть просто счетчиками, а вторые — делителями. Так будем называть их и мы.

С простейшим одноразрядным счетчиком импульсов на JK- или D-триггере, работающим в счетном режиме, ты уже знаком (рис. 298, 300). Он считает входные импульсы по модулю 2 — каждый импульс переключает триггер в противоположное состояние. Один триггер считает до одного, два последовательно соединенных триггера считают до трех, а n триггеров — до $2^n - 1$ импульсов. Результат счета формируется в заданном коде двоичной системы счисления, который может храниться в памяти триггеров счетчика или быть считанным другим устройством цифровой техники, например микросхемой-дешифратором.

Предлагаю провести опытную проверку и анализ работы трехразрядного двоичного счетчика, смонтированного по схеме на рис. 302, *а*. Он, как видишь, образован тремя JK-триггерами, соединенными последовательно: прямой выход триггера DD1 соединен с входом C триггера DD2, а его прямой выход — с входом C триггера DD3. Вход C (вывод 12) первого триггера является входом счетчика, а прямой выход третьего триггера (вывод 8) — его выходом. При кратковременном нажатии на кнопку SB1 все триггеры счетчика устанавливаются в нулевое состояние.

Индикаторы желательно подключить к выходам всех триггеров, чтобы визуально наблюдать за изменением их состояний при счете импульсов. Состояние третьего триггера, выраженное логическим 0 или 1 на прямом выходе, будет характеризовать цифру старшего разряда, первого триггера — младшего разряда кода счетчика.



Входной импульс	Логическое состояние триггера		
	DD3	DD2	DD1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

е)

Рис. 302. Трехразрядный двоичный счетчик импульсов

На вход счетчика подавай от генератора импульсы с частотой следования 0,5...1 Гц. Нажми на кнопку, чтобы установить триггеры в нулевое состояние. В это время ни один из индикаторов счетчика не должен светиться. Затем отпусти кнопку и, наблюдая за индикаторами счетчика, по вспышкам выходного индикатора генератора начинай считать импульсы, поступающие на вход счетчика. По спаду первого импульса (рис. 302, *б*) триггер DD1 примет единичное состояние (рис. 302, *в*), а другие будут сохранять нулевое состояние. Второй импульс переключит триггер DD1 в нулевое состояние, а триггер DD2 — в единичное (рис. 302, *г*). По спаду третьего импульса триггеры DD1 и DD2 окажутся в единичном состоянии, а триггер DD3 все еще будет в нулевом. Четвертый импульс переключит первые два триггера в нулевое состояние, а третий — в единичное (рис. 302, *д*). Восьмой импульс переключит все триггеры в нулевое состояние — начнется следующий цикл счета входных импульсов.

Повтори такие наблюдения несколько раз, а затем по сигналам индикаторов составь таблицу состояний триггеров счетчика, соответствующих порядковым номерам входных импульсов. Она должна получиться такой, как приведенная на рис. 302, *е*.

В этой таблице нули и единицы каждой строчки образуют двоичный код счетчика. Он соответствует численному значению входных импульсов, выраженному в десятичной системе счисления. Так, код 010, записанный в ячейках счетчика, соответствует двум входным импульсам, 011 — трем, 100 — четырем импульсам и т. д. Если такой счетчик дополнить еще одним триггером, то счетчик стал бы четырехразрядным и считал бы до 15 импульсов, т. е. до двоичного числа 1111.

Изучая графики, иллюстрирующие действие трехразрядного счетчика, нетрудно заметить, что период импульса каждого его старшего разряда отличается от соседнего младшего удвоенным числом импульсов счета. Так, период импульсов на выходе первого триггера в 2 раза больше периода входных импульсов, на выходе второго триггера — в 4 раза, на выходе третьего триггера — в 8 раз. Говоря языком цифровой техники, такой счетчик работает в весовом коде 1-2-4. Здесь под термином «вес» имеется в виду объем информации, принятой счетчиком после установки его триггеров в единичное состояние. В устройствах и приборах цифровой техники наибольшее распространение получили четырехразрядные счетчики импульсов, работающие в весовом коде 1-2-4-8.

Счетчики-делители, или просто делители, считают входные импульсы до некоторого задаваемого коэффициента счета состояния, после чего формируют сигнал сброса триггеров в нулевое состояние, вновь начинают счет входных импульсов до задаваемого коэффициента счета и т. д. В этом и заключается характерная особенность принципа действия делителей частоты.

Для примера на рис. 303 показаны схема и графики работы делителя с коэффициентом счета 5, построенного на трех JK-триггерах. Это уже знакомый тебе трехразрядный двоичный счетчик, дополненный логическим элементом 2И-НЕ (DD4.1), который и задает коэффициент счета 5. Происходит это так. При первых четырех входных импульсах (после установки триггеров в нулевое состояние кнопкой SB1 «Уст. 0») устройство работает как обычный двоичный счетчик импульсов. При этом на одном или обоих входах элемента действует напряжение низкого уровня, поэтому он находится в единичном состоянии. По спаду же пятого импульса на прямых выходах первого и третьего триггеров, а значит, и на обоих входах элемента DD4.1 появляется высокий уровень напряжения, переключающий его в нулевое состояние. В этот момент на выходе элемента формируется короткий импульс, который в отрицательной полярности передается на R-входы триггеров и переключает их в исходное нулевое состояние. С этого момента начинается следующий цикл работы счетчика.

Резистор R1 и диод VD1, введенные в такой вариант счетчика, необходимы для того, чтобы исключить замыкание выхода элемента DD4.1 на общий провод источника питания.

Чтобы проверить действие такого счетчика-делителя, надо подключить к его выходу (вывод 8 триггера DD3) индикатор, а на вход C первого триггера подать от генератора серию импульсов с частотой следования 0,5...1 Гц. Затем кратковременно нужно нажать на кнопку SB1, чтобы сбросить триггеры в нулевое состояние, и сразу же начать, ориентируясь на выходной индикатор генератора, считать

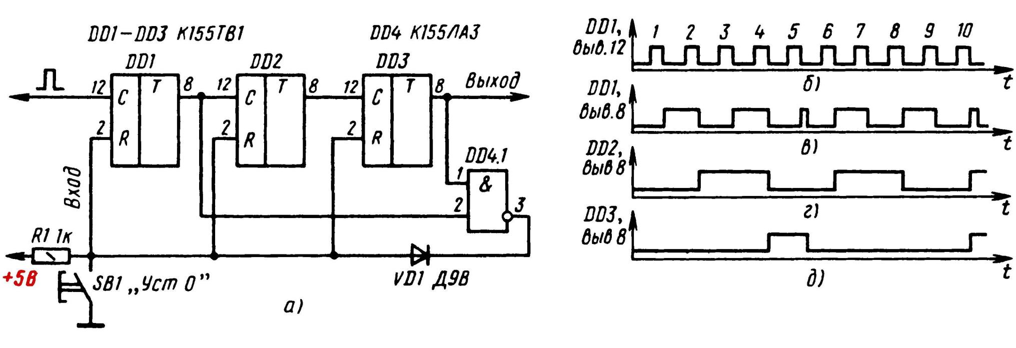


Рис. 303. Схема и графики работы делителя с коэффициентом счета 5

импульсы. Индикатор на выходе счетчика-делителя будет реагировать только на каждый пятый входной импульс.

Опыты со счетчиками и делителями на JK-триггерах, на которые пришлось пожертвовать пару вечеров, помогли тебе, надеюсь, разобраться в принципе построения и работе этих «кирпичиков» цифровой техники. Но на практике в конструируемых устройствах и приборах функции счетчиков и делителей выполняют специально разработанные микросхемы повышенной степени интеграции. В серии К155, например, это счетчики К155ИЕ1, К155ИЕ2, К155ИЕ4 и др. В радиолюбительских разработках наиболее широко используются счетчики К155ИЕ1 и К155ИЕ2. Условные графические изображения этих счетчиков с нумерацией их выводов показаны на рис. 304.

Микросхема К155ИЕ1 (рис. 304, *а*) является декадным счетчиком импульсов, т. е. счетчиком до 10. Счетчик образуют последовательно соединенные четыре триггера. Установку всех триггеров счетчика в нулевое состояние осуществляют подачей напряжения высокого уровня одновременно на оба входа R (выводы 1 и 2), объединенные логическим элементом И (условный символ «&»). Счетные импульсы, которые должны быть отрицательной полярности, можно подавать на соединенные вместе входы С (выводы 8 и 9), также объединенные элементом И, или на один из них, если в это время на втором входе будет высокий уровень напряжения. При каждом десятом импульсе на выходе счетчика формируется равный ему по длительности импульс отрицательной полярности, характеризующий объем принятой информации.

Можно ли опытным путем проверить логику действия этой микросхемы? Конечно! Для этого соедини вместе выводы 8 и 9 входа С и подключи к ним выход генератора импульсного напряжения (рис. 305, *а*). Соедини вместе выводы 1 и 2 R-входа и подключи их к общему (отрицательному) проводнику источника питания микросхемы. К выходу (вывод 5) подключи светодиодный индикатор или вольтметр постоянного тока, используя его в качестве индикатора напряжения. Транзисторный индикатор для этой цели непригоден из-за малого перепада выходного напряжения счетчика.

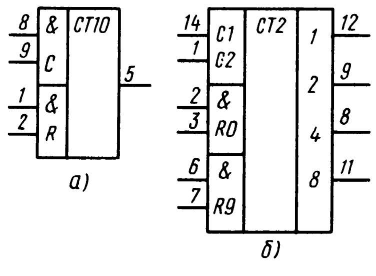


Рис. 304. Условные графические обозначения счетчиков К155ИЕ1 и К155ИЕ2

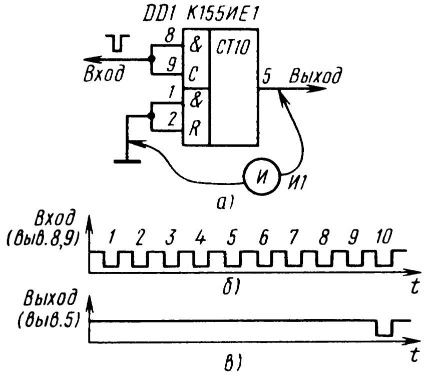


Рис. 305. Работа счетчика К155ИЕ1

Включи питание. Сразу же загорится светодиодный индикатор, но менее ярко, чем в опытах с триггерами. А с приходом десятого импульса он погаснет на время, равное длительности импульса, снова загорится и вновь погаснет после десятого входного импульса. Графики *б* и *в* на рис. 305, построенные в соответствии с сигналами индикаторов, подтверждают логику работы счетчика К155ИЕ1.

Микросхема К155ИЕ2 (рис. 304, *б*) представляет собой двоично-десятичный четырехразрядный счетчик. В ней также четыре JK-триггера. Но один из них (назовем его первым) имеет отдельные вход С1 (вывод 14) и прямой выход (вывод 12). Три других триггера соединены между собой так, что образуют делитель на 5 (примерно такой же, как делитель по схеме на рис. 303, *а*). При соединении выхода первого триггера со входом С2 второго триггера (вывод 1) цепочка всех триггеров микросхемы становится делителем на 10, работающим в коде 1-2-4-8, что и символизируют цифры в правой колонке графического изображения микросхемы.

Полярность входных импульсов — положительная. Подавать импульсы можно на любой из выводов входа С (при этом на втором выводе должен быть уровень высокого напряжения) или одновременно на оба вывода. Сброс триггеров в нулевое состояние происходит при подаче на один или оба вывода (2 и 3) входа R0 напряжения высокого уровня. Вход R9 (выводы 6 и 7) служит для установки счетчика в состояние 9, что практически используют в исключительных случаях. Во всех других случаях этот вход микросхемы соединяют с общим проводником источника питания.

Постоянное напряжение источника питания микросхемы подают: +5 В — на вывод 5, −5 В — на вывод 10. Этой особенностью она отличается от подачи питания на выводы знакомых тебе микросхем серии К155. Запомни это на будущее.

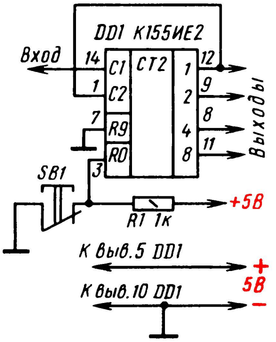
Микросхему К155ИЕ2 можно назвать универсальным счетчиком, потому что два объединенных входа и четыре раздельных выхода микросхемы позволяют без дополнительных логических элементов строить делители частоты с различными коффициентами деления — от 2 до 10. Так, если соединить между собой выводы 12 и 1, 9 и 2, 8 и 3, то коэффициент счета будет 6, а при соединении выводов 12 и 1, 11, 2 и 3 коэффициент счета станет 8. Эта особенность микросхемы позволяет использовать ее и как двоичный счетчик, и как счетчик-делитель. Поэтому она пользуется у радиолюбителей особой популярностью.

Проведи опытную проверку работы микросхемы К155ИЕ2. Сначала как счетчика-делителя на 10, соединив между собой выводы 1 и 12 (рис. 306, *а*). К выходам, желательно ко всем четырем (выводы 12, 9, 8, 11), подключи индикаторы. Вход R0 соедини через кнопку SB1 (с нормально замкнутыми контактами) с общим проводом и через резистор R1 — с источником питания +5 В. На вход C1 (вывод 14) микросхемы подавай от генератора импульсы с частотой следования 1...2 Гц.

Включи питание и нажми на кнопку SB1, чтобы подать на вход R0 напряжение высокого уровня. При этом все триггеры счетчика установятся в нулевое состояние, что соответствует двоичному коду 0000. Затем отпусти кнопку, чтобы на входе R0 был низкий уровень напряжения, и, наблюдая за индикаторами, начинай считать импульсы генератора. Логические состояния счетчика, в которых он оказывается после каждого входного импульса, иллюстрирует таблица, приведенная на рис. 306, *б*. Сверяя записанные в ней логические 0 и 1 с сигналами индикаторов, убеждаешься в том, что двоичный код, формируемый на выходах счетчика, соответствует объему записанной им информации, т. е. числу входных импульсов.

После девятого импульса (выходной код 1001) счетчик переключится в состояние 0000 и начнет считать следующую пачку импульсов генератора.

Аналогично работает микросхема и при других коэффициентах пересчета. Но учти: при меньших, чем 8, коэффициентах счета индикатор старшего разряда кода, т. е. подключенный к выходному выводу 11 микросхемы, светиться не должен.



а)

Счет	Вывод DD1			
	11	8	9	12
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

б)

Рис. 306. Работа счетчика К155ИЕ2

БЛОК ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИИ

Такой блок является конечным звеном не только частотомера, к изучению и конструированию которого ты скоро приступишь, но и многих других приборов и устройств с цифровой индикацией результатов электрических измерений, например индикации текущего времени в электронных часах. В его задачу входят преобразование двоичного кода информации в код десятичный и высвечивание соответствующей ему цифры. Первую из этих функций блока выполняет дешифратор, вторую — индикатор с цифровым представлением информации.

Вот схема возможного варианта такого блока (рис. 307). Он одноразрядный. Микросхема К155ИД1 (DD1) представляет собой двоично-десятичный дешифратор, рассчитанный на совместную работу с высоковольтным цифровым газоразрядным индикатором серии ИН. У нее четыре адресных входа (выводы 3, 6, 7 и 4), которые подключают непосредственно к выходам двоичного счетчика, работающего в весовом коде 1-2-4-8, например счетчика К155И2, опыты с которым ты только что закончил. Выходов десять — по числу индицируемых цифр от 0 до 9. Всего, таким образом, у микросхемы 16 выводов, два из которых (выводы 5 и 12) предназначены для подключения источника питания.

Газоразрядный индикатор ИН-8-2 (или любой другой из серии ИН, например ИН-8, ИН-14, ИН-16) — это электронная лампа с одиннадцатью катодами в виде цифр от 0 до 9, запятой и одним общим анодом. Каждый из катодов и анод образуют диод. При подаче

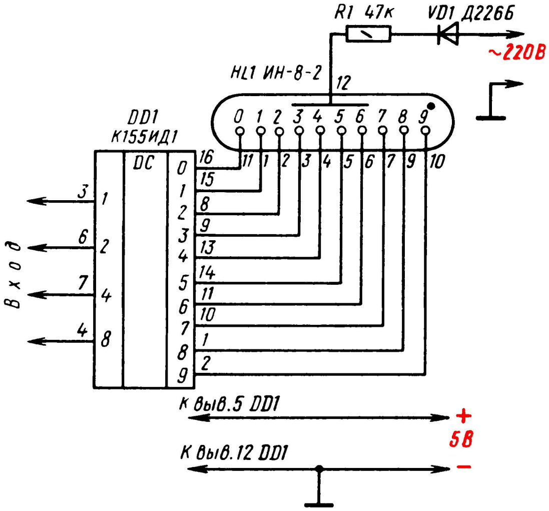


Рис. 307. Одноразрядная ячейка цифровой индикации

на них постоянного или пульсирующего напряжения цифра-катод начинает светиться, что и используется для индицирования цифровых знаков.

Выводы катодов индикатора соединяют с соответствующими им выводами выходов дешифратора. Дешифратор преобразует выходные двоичные сигналы счетчика в сигналы кода десятичной системы счисления, которые зажигают соответствующие катоды-цифры индикатора.

Монтаж и опытную проверку блока цифровой индикации веди в такой последовательности. Сначала укрепите на макетной панели плашмя только газоразрядный индикатор ИН-8-2 (или ИН-14, но его цоколевка — иная), предварительно надев на его проволочные выводы изолирующие трубочки. Если ты блок питания будущего частотомера еще не делал, то рядом с индикатором размести диод VD1, выполняющий функцию однополупериодного выпрямителя, питающего анодную цепь индикатора, и резистор R1, ограничивающий ток в этой цепи. Источником переменного напряжения 220 В служит электроосветительная сеть. Один из сетевых проводов соедини с анодным выводом диода. Свободный конец второго соединительного провода зачисть от изоляции и касайся им поочередно выводов 11, 1, 2—10 индикатора. При этом должны индицироваться последовательно цифры 0, 1, 2 и т. д. до 9. При касании вывода 8 вспыхнет неиспользуемый знак запятой. Такую проверку действия индикатора (а заодно и его цоколевки) проводи с особой осторожностью, чтобы не попасть под высокое напряжение.

Затем на макетной панели смонтируй дешифратор К155ИД1 (DD1) и соедини его выходные выводы с соответствующими выводами индикатора. Получится одноразрядный блок цифровой индикации. Включив источники питания (постоянного и переменного токов), соедини вместе все четыре входных вывода дешифратора и подключи их к общему проводнику, чтобы подать на них напряжение низкого уровня. В индикаторе должна загореться цифра 0. Далее такой же сигнал подай поочередно на соединенные между собой выводы 4, 7 и 6; 4, 7 и 3; 4 и 7; 4, 6 и 3; 4 и 6; 4 и 3; 4; 7, 6 и 3; 7 и 6. Неиспользуемые выводы оставляй свободными, что эквивалентно подаче на них напряжения высокого уровня. В это время должны индицироваться последовательно цифры от 1 до 9.

Так, имитируя двоичный код счетчика, подаваемый на адресные входы дешифратора, ты испытаешь блок цифровой индикации.

Теперь, продолжая опыты, адресные входы дешифратора можно соединить с соответствующими выходами испытанного тобой счетчика К155ИЕ2 с коэффициентом пересчета 10 (по рис. 303) и подать на его вход С1 сигнал от генератора импульсов. Частота следования импульсов может быть 1...3 Гц и даже больше. Как на это реагирует индикатор? В нем поочередно светятся цифры от 0 до 9. Так и должно быть: одноразрядный счетчик импульсов считает до 9, переполняется и тут же начинает с 0 пересчитывать следующую серию входных импульсов. Чтобы он стал двухразрядным и, следовательно, мог считать импульсы до 99, последовательно с ним надо включить еще один такой же одноразрядный счетчик с блоком цифровой индикации.

Любительские цифровые частотомеры содержат обычно трех-четырехразрядные счетчики, позволяющие при соответствующей коммутации цепей управления индицировать измеряемые частоты до нескольких мегагерц и более.

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР

Вот теперь, когда практически освоена работа триггеров, делителей частоты, двоичных счетчиков, дешифратора и цифрового индикатора, можно приступить к конструированию частотомера с цифровой индикацией результатов измерения.

Структурная схема рекомендуемого частотомера показана на рис. 308. Не считая источника питания, его образуют шесть основных узлов — блоков функционального назначения:

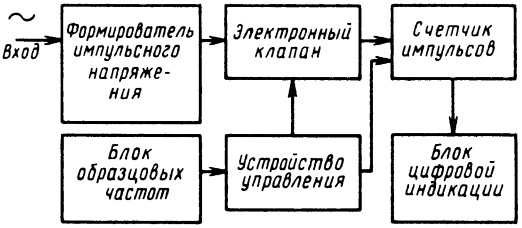


Рис. 308. Структурная схема цифрового частотомера

формирователь импульсов сигнала измеряемой частоты, блок образцовых частот, электронный клапан, двоично-десятичный счетчик импульсов, блок цифровой индикации и управляющее устройство. Прибор позволяет измерять синусоидальные гармонические и импульсные электрические колебания частотой от единиц герц до 10 МГц и амплитудой от 0,15 до 10 В, а также считать импульсы входного сигнала.

Принцип действия описываемого частотомера основан на измерении числа импульсов в течение строго определенного — образцового — интервала времени, например за 1 с, 0,1 с. Этот интервал времени задает блок образцовых частот.

Переменное напряжение синусоидальной формы, частоту которого надо измерить, подают на вход формирователя импульсного напряжения, являющегося входом частотомера. В результате преобразования переменного напряжения на выходе этого устройства прибора формируются импульсы прямоугольной формы, частота следования которых соответствует частоте входного сигнала. С выхода формирователя импульсы поступают на один из входов электронного клапана. А на второй его вход через управляющее устройство поступают импульсы образцовой частоты, открывающие клапан на время, соответствующее периоду этих импульсов. При этом на выходе электронного клапана появляются пачки импульсов, которые далее следуют к двоично-десятичному счетчику. Логическое состояние двоично-десятичного счетчика, в котором он оказался после закрывания клапана, отображает блок цифровой индикации, работающий в течение времени, определяемого управляющим устройством.

В режиме счета импульсов управляющее устройство блокирует источник образцовых частот. В это время двоично-десятичный счетчик ведет непрерывный счет поступивших на его вход импульсов, а блок цифровой индикации отображает результат счета.

Принципиальная схема частотомера приведена на рис. 309. Многие элементы и узлы в нем тебе уже знакомы. Поэтому более подробно рассмотрим лишь новые для тебя цепи и узлы прибора. Начну с источников питания.

Блок питания микросхем и транзисторов частотомера образуют сетевой трансформатор T1, двухполупериодный выпрямитель VD4 — VD7, оксидный конденсатор C12, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения, и стабилизатор напряжения на стабилитроне VD3 и транзисторе VT3. Конденсатор C11 на выходе стабилизатора дополнительно сглаживает пульсации выпрямленного напряжения. Конденсатор C10 (как и конденсаторы C5 — C9, монтируемые на платах прибора) блокирует микросхемы частотомера по цепи питания. Резистор R18 поддерживает режим стабилизатора при отключенной от него нагрузке.

Напряжение обмотки III сетевого трансформатора (200...220 В) подается через диод VD8, работающий как однополупериодный выпрямитель, в цепи питания анодов цифровых газоразрядных индикаторов HL1 — HL4.

Входная часть частотомера состоит из усилителя на транзисторе VT1 и триггера Шмитта микросхемы К155ТЛ1 (DD1). В этой микросхеме два триггера Шмитта, каждый из которых может работать как самостоятельное электронное устройство функционального назначения, но в частотомере используется только один из них (любой). Принцип же его работы аналогичен действию триггера Шмитта на логических элементах 2И-НЕ, использованного тобой в пятнадцатой беседе в простейшем частотомере со стрелочным индикатором на выходе (рис. 279).

Транзистор VT1 усиливает и одновременно ограничивает по амплитуде синусоидальные колебания входного сигнала, а триггер Шмитта DD1.1 преобразует их в электрические импульсы прямоугольной формы. С выхода триггера (вывод 6 DD1.1) импульсное напряжение поступает на входной вывод 2 элемента DD10.1, выполняющего функцию электронного клапана. Дальнейшее прохождение этого сигнала зависит от электрического состояния клапана, что, в свою очередь, определяется управляющим устройством частотомера.

Какова роль кремниевого диода VD1 и резистора R1 на входе прибора? Диод ограничивает отрицательное напряжение на эмиттерном переходе транзистора. Пока напряжение входного сигнала не превышает 0,6...0,7 В, диод практически закрыт и не оказывает никакого влияния на работу транзистора как усилителя. Когда же амплитуда измеряемого сигнала оказывается больше этого порогового напряжения, диод при отрицательных полупериодах открывается и таким образом поддерживает на базе транзистора напряжение, не превышающее 0,7...0,8 В. А резистор R1 предотвращает

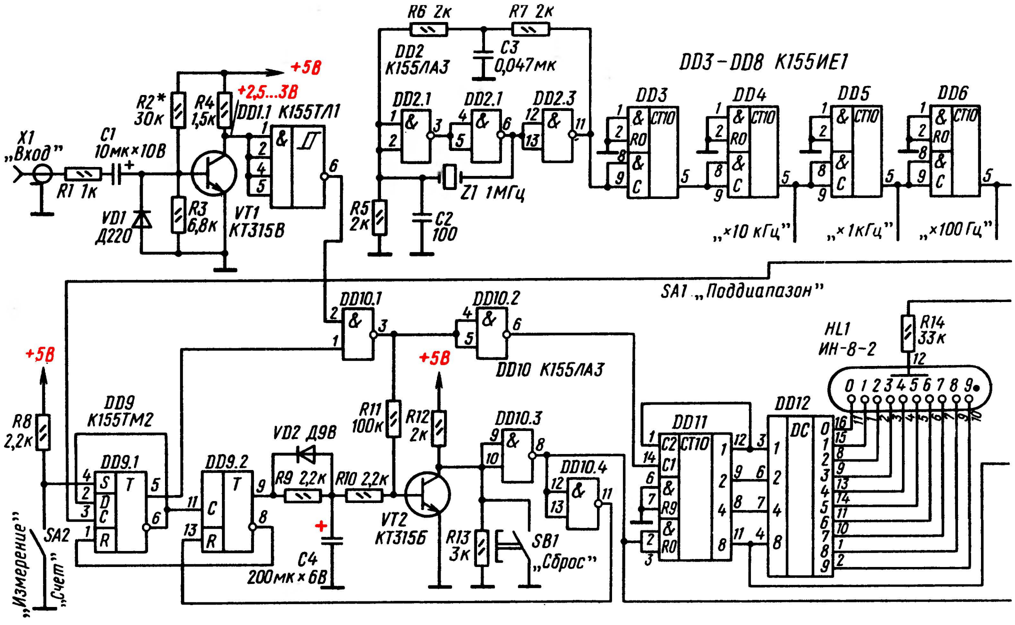

X1 „Вход"
C1 10мк×10В
R1 1к
R2* 30к
R4 1,5к
+5В
+2,5...3В
DD1.1 К155ТЛ1
VD1 Д220
R3 6,8к
VT1 КТ315В
R6 2к
R7 2к
C3 0,047мк
DD2 К155ЛА3
DD2.1
DD2.3
Z1 1МГц
R5 2к
C2 100
DD3-DD8 К155ИЕ1
DD3
DD4
DD5
DD6
СТ10
R0
C
„×10 кГц"
„×1кГц"
„×100 Гц"
SA1 „Поддиапазон"
DD10.1
DD10.2
DD10 К155ЛА3
HL1 ИН-8-2
R14 33к
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
+5В
R8 2,2к
DD9 К155ТМ2
DD9.1
DD9.2
S T D C R
VD2 Д9В
R9 2,2к
R10 2,2к
R11 100к
R12 2к
C4 200мк×6В
VT2 КТ315Б
DD10.3
DD10.4
R13 3к
SB1 „Сброс"
DD11
C2 C1 R9 R0
DD12
DC
SA2
„Измерение"
„Счет"

Рис. 309. Принципиальная схема частотомера

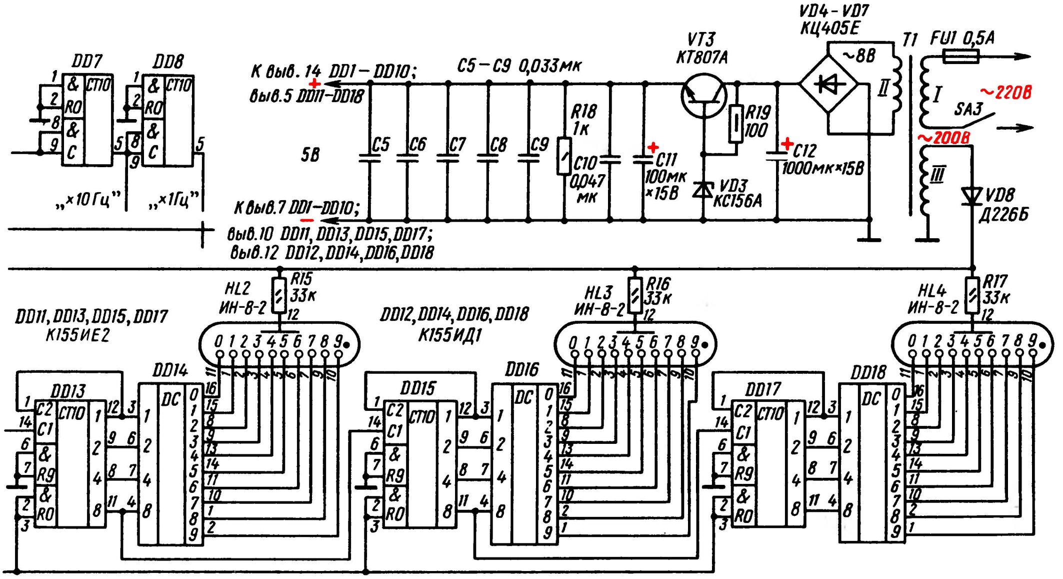
протекание через диод опасного для него тока при входном сигнале повышенного напряжения.

Транзисторный усилитель не является обязательным элементом входного устройства прибора — напряжение измеряемой частоты можно подавать непосредственно на вход формирователя импульсного напряжения, т. е. на вход триггера Шмитта, минуя усилитель. Но тогда чувствительность частотомера будет определяться порогом срабатывания триггера и не превысит 0,7...0,8 В. С усилителем же на входе чувствительность прибора будет более чем на порядок лучше — примерно 50 мВ.

Блок образцовых частот, являющийся «сердцем», задающим ритм работы измерительного прибора, образуют: генератор на трех логических элементах микросхемы К155ЛА3 (DD2), частота следования импульсов которого стабилизирована кварцевым резонатором Z1, и шестиступенный делитель частоты на микросхемах К155ИЕ1 (DD3—DD8). Частота генератора определяется собственной частотой кварцевого резонатора и в нашем случае равна 1 МГц.

Ты уже знаешь, что микросхемы К155ИЕ1 представляют собой делители частоты с коэффициентом деления 10. Поэтому микросхема DD3, на вход С которой поступают импульсы генератора, делит его частоту на 10, следующая за ней микросхема DD4 еще на 10, микросхема DD5 — еще на 10 и т. д. Таким образом, частота импульсов на выходе микросхемы DD3 (вывод 5) равна 100 кГц, на выходе микросхемы DD4 — 10 кГц, на выходе DD5 — 1 кГц, на выходе DD6 — 100 Гц, на выходе DD7 — 10 Гц и на выходе всего шестиступенного делителя блока образцовых частот (вывод 5 микросхемы DD8) — 1 Гц. Необходимые для измерения периоды импульсов образцовой частоты, снимаемые с делителя блока переключателем SA1 «Поддиапазон», подают на вход управляющего устройства, работу которого разберем чуть позже.

Блок цифровой индикации результатов измерения, используемый в приборе, четырехразрядный. Счетчик DD11, включенный на пересчет импульсов до 10 (соединены выводы 1 и 12), дешифратор DD12 и индикатор HL1 образуют младший разряд, а аналогичные им счетчик DD17, дешифратор DD18 и индикатор HL4 — старший разряд выходного устройства частотомера. Микросхема DD11 считает одиночные импульсы, поступающие на ее информационный вход С1 (вывод 14), от 0 до 9. Следующая за ней микросхема DD13, вход С1 которой подключен к адресному выходу 8 (вывод 11) микросхемы DD11, пересчитывает десятки импульсов, DD15 — сотни, а микросхема DD17 старшего разряда — тысячи им-


DD7
DD8
CT10
RO
„×10 Гц"
„×1Гц"
К выв. 14 DD1–DD10;
выв.5 DD11–DD18
5В
К выв.7 DD1–DD10;
выв.10 DD11, DD13, DD15, DD17;
выв.12 DD12, DD14, DD16, DD18
C5–C9 0,033мк
C5
C6
C7
C8
C9
R18 1к
C10 0,047 мк
C11 100мк ×15В
VT3 КТ807А
R19 100
VD3 КС156А
C12 1000мк×15В
VD4-VD7 КЦ405Е
~8В
T1
FU1 0,5А
~220В
SA3
~200В
VD8 Д226Б
HL2 ИН-8-2
R15 33к
HL3 ИН-8-2
R16 33к
HL4 ИН-8-2
R17 33к
DD11, DD13, DD15, DD17 К155ИЕ2
DD12, DD14, DD16, DD18 К155ИД1
DD13
DD14
DD15
DD16
DD17
DD18
DC
R9

пульсов. Таким образом четырехразрядный счетчик блока позволяет измерять, а индикаторы высвечивать десятичные цифры частоты следования входных импульсов от 0 до 9999 Гц. Это в режиме непрерывного счета или при установке переключателя SA1 «Поддиапазон» в положение «×1 Гц». При установке переключателя в положение «×10 Гц» блок цифровой индикации фиксирует частоту импульсов до 100 кГц (99 999 Гц), в положении «×100 Гц» — до 1 МГц (999 кГц), в положении «×1 кГц» — до 10 МГц (9,999 МГц). Но в любом случае индицируются четыре цифры. Чтобы точнее знать частоту сигнала, приходится переключателем выбирать соответствующий поддиапазон измерения, переходя постепенно от более высокочастотного к низкочастотному.

В законченной конструкции частотомера индикатор HL1 младшего разряда должен быть крайним правым, а индикатор HL4 старшего разряда — крайним левым.

В управляющее устройство частотомера входят: переключатель SA2 «Измерение-Счет», D-триггеры DD9.1 и DD9.2 микросхемы К155ТМ2, транзистор VT2, элементы DD10.2, DD10.3 и DD10.4, включенные инверторами, кнопка SB1 «Сброс», диод VD2 с оксидным конденсатором C4, резисторы R8 — R13. Работу этого наиболее сложного устройства прибора иллюстрируют графики, приведенные на рис. 310. Следи за объяснением внимательно.

Считаем, что переключатель SA2 находится в положении «Измерение» и, следовательно, его контакты разомкнуты. На вход C D-триггера

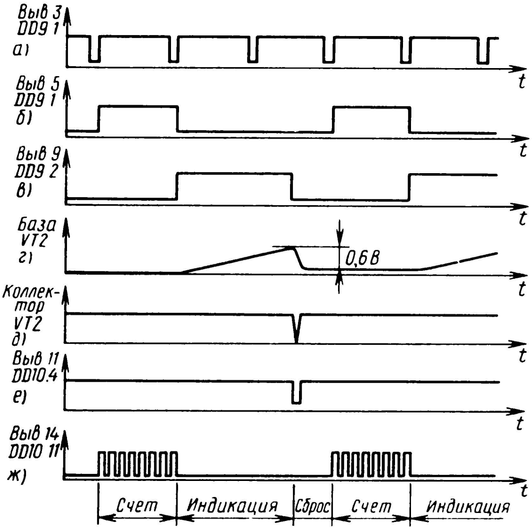


Рис. 310. Графики, иллюстрирующие работу управляющего устройства цифрового частотомера

DD9.1, работающего в режиме счета на 2 (инверсный выход соединен с входом D), непрерывно поступают импульсы от блока образцовых частот (см. график *а* на рис. 310). В начальный момент на его прямом выходе (вывод 5) напряжение низкого уровня, закрывающее электронный клапан DD10.1, который не пропускает через себя сформированное триггером Шмитта DD1.1 импульсное напряжение. По фронту первого же импульса образцовой частоты, установленной переключателем SA1, триггер DD9.1 переключается в единичное состояние (график *б*) и напряжением высокого уровня на прямом выходе открывает электронный клапан. С этого момента импульсы напряжения измеряемой частоты беспрепятственно проходят через клапан, инвертор DD10.2 и поступают непосредственно на вход C1 (вывод 14) счетчика DD11 младшего разряда выходного блока прибора. Начинается счет входных импульсов (график *ж*).

По фронту следующего импульса образцовой частоты триггер DD9.1 переключается в исходное нулевое состояние и напряжением высокого уровня на инверсном выходе переключает в единичное состояние D-триггер DD9.2 (график *в*). В свою очередь, этот триггер низким уровнем напряжения на инверсном выходе (вывод 8), а значит, и на соединенном с ним входе R триггера DD9.1 блокирует вход управляющего устройства от воздействия на него импульсов образцовой частоты. При этом клапан закрывается напряжением низкого уровня на прямом выходе триггера DD9.1. С этого момента начинается индикация числа импульсов в пачке, поступивших на вход двоично-десятичного счетчика.

С появлением напряжения высокого уровня на прямом выходе триггера DD9.2 через резистор R9 начинает заряжаться оксидный конденсатор C4. По мере его зарядки увеличивается положительное напряжение на базе транзистора VT2 (график *г*). Как только оно достигает примерно 0,6 В, транзистор открывается, напряжение на коллекторе уменьшается почти до 0 (график *д*). Появляющееся при этом на выходе элемента DD10.3 напряжение высокого уровня воздействует на входы R0 DD11, DD13, DD15 и DD17, в результате чего двоично-десятичный счетчик импульсов сбрасывается в нулевое состояние, отчего результат измерения прекращается. Одновременно напряжение низкого уровня, появившееся коротким импульсом на выводе 11 инвертора DD10.4 (график *г*), переключает триггер DD9.2 в исходное состояние и конденсатор C4 разряжается через диод VD2 и внутреннее сопротивление этого триггера. С появлением на входе С триггера DD9.1 очередного импульса образцовой частоты начинается следующий цикл работы прибора в режиме измерения (график *ж*).

Чтобы частотомер перевести на работу в режиме непрерывного счета импульсов, переключатель SA2 устанавливают в положение «Счет». В этом случае триггер DD9.1 по входу S переключается в единичное состояние — на его прямом выходе появляется напряжение высокого уровня. При этом электронный клапан оказывается открытым и через него к двоично-десятичному счетчику непрерывно поступают импульсы входного сигнала. Показания счетчика в этом случае прекращаются при нажатии на кнопку SB1 «Сброс».

Конструкция, монтаж и налаживание. Внешний вид готового частотомера показан на рис. 311. Его корпус с внешними размерами 72 × 165 × 234 мм состоит из двух П-образных частей, согнутых из мягкого листового дюралюминия толщиной 2 мм. Нижняя часть выполняет функцию сборочного шасси. В ее передней стенке, являющейся лицевой панелью прибора, выпилено прямоугольное отверстие размерами 28 × 70 мм, прикрываемое спереди пластинкой красного органического стекла, через которое видны газоразрядные индикаторы. Справа от него — отверстия для крепления гнездовой части входного высокочастотного разъема X1, галетного переключателя SA1, тумблера SA2 «Измерение-счет» и кнопки SB1 «Сброс». Три отверстия на задней стенке служат для выключателя питания SA3, арматуры плавкого предохранителя UF1 и ввода сетевого шнура. Верхнюю часть — крышку — привертывают винтами М3 к дюралюминиевым уголкам, приклепанным к шасси вдоль боковых сторон. Снизу к шасси прикреплены резиновые ножки.

Хочу предупредить: размеры прямоугольного отверстия рассчитаны на использование в частотомере газоразрядных индикаторов ИН-8-2. Для индикаторов ИН-14 длина этого отверстия должна быть на 8...10 мм больше. В случае же использования индикаторов ИН-16, у которых диаметр баллонов и высота цифр меньше, размеры отверстия в лицевой панели могут быть 50 × 20 мм. Но имей в виду, цоколевка индикаторов ИН-14 и ИН-16 иная, чем у ИН-8-2.

Вообще же советую сначала обзавестись необходимыми индикаторами, выключателями и переключателями, которые должны быть на корпусе, затем с учетом особенностей деталей выпилить и просверлить все отверстия и только после этого изгибать заготовки частей корпуса. При этом, разумеется, не исключена замена деталей. Например, использование кнопочных переключателей П2К вместо галетного для переключения поддиапазонов образцовых частот.

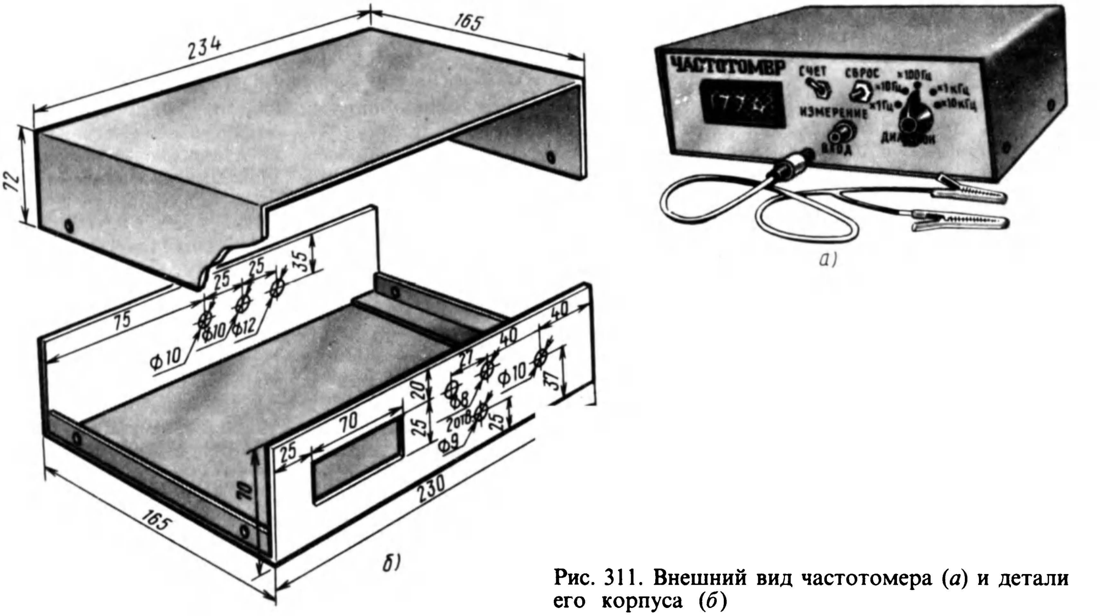

ЧАСТОТОМЕР
СЧЕТ
СБРОС
×100Гц
×10Гц
×1кГц
×1Гц
×10кГц
ИЗМЕРЕНИЕ
ВХОД
ДИАПАЗОН
а)
234
165
72
35
25
25
75
Ф10
Ф10
Ф12
40
27
40
Ф10
37
20
Ф8
25
2отв.Ф8
25
Ф9
70
25
70
230
165
б)

Рис. 311. Внешний вид частотомера (*а*) и детали его корпуса (*б*)

При изгибании заготовок частей корпуса учти практический совет, который я дал в беседе «Радиолюбительская мастерская».

Детали частотомера смонтированы на четырех печатных платах из фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм, каждая из которых представляет собой функционально законченный блок прибора. Размещение плат в корпусе показано на рис. 312. Платы винтами с гайками укреплены на пластине листового пластика, а она — на дне шасси. Соединения между платами и другими деталями прибора выполнены гибкими проводниками в надежной изоляции.

Первым монтируй и испытывай блок питания. Его внешний вид и печатная плата со схемой размещения деталей показаны на рис. 313. Сетевой трансформатор T1 самодельный, выполнен на магнитопроводе ШЛО20 × 32. Обмотка I, рассчитанная на напряжение сети 220 В, содержит 1650 витков провода ПЭВ-1 0,1, анодная обмотка III — 1500 витков такого же провода, обмотка II — 55 витков провода ПЭВ-1 0,47. Вообще же для блока питания можно использовать подходящий готовый трансформатор мощностью 8...10 Вт, обеспечивающий на обмотке II переменное напряжение 8...10 В при токе нагрузки не менее 0,5 А, на обмотке III — около 200 В при токе не менее 10 мА.

Регулирующий транзистор VT3 стабилизатора напряжения укреплен винтами на Г-образной дюралюминиевой пластине размерами 50 × 50 и толщиной 2 мм, выполняющей функцию теплоотвода. Выводы базы и эмиттера транзистора пропущены через отверстия в плате и припаяны непосредственно к соответствующим

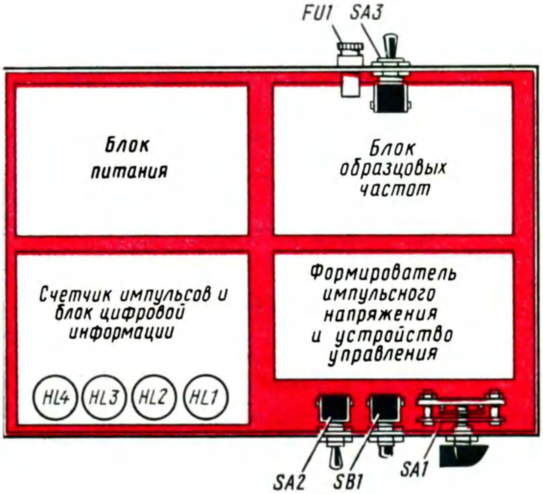

FU1
SA3
Блок питания
Блок образцовых частот
Счетчик импульсов и блок цифровой информации
Формирователь импульсного напряжения и устройство управления
HL4
HL3
HL2
HL1
SA2
SB1
SA1

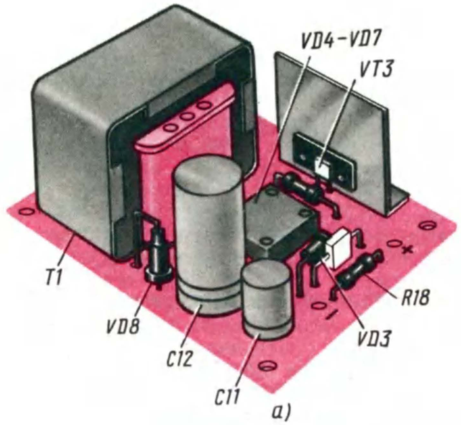
Рис. 312. Размещение блоков и деталей цифрового частотомера в корпусе

печатным площадкам-проводникам. Электрический контакт коллектора транзистора с выпрямительным блоком VD4—VD7 осуществлен через его теплоотвод, крепежные винты с гайками и фольгу платы.

Сверив монтаж со схемой блока и тщательно прочистив прорези в фольге, подключи к выходу стабилизатора напряжения эквивалент нагрузки—резистор сопротивлением 10...12 Ом на мощность рассеяния 5 Вт. Подключи блок к сети и тут же измерь напряжение на резисторе—оно должно быть в пределах 4,75...5,25В. Более точно это напряжение можно установить подбором стабилитрона VD3. Оставь блок включенным на 1,5...2 ч. За это время регулирующий транзистор может нагреться до 60...70° С, но напряжение на нагрузке должно оставаться практически неизменным. Так ты испытаешь блок питания при работе в условиях, близким к реальным.

Следующим монтируй четырехразрядный счетчик импульсов с блоком цифровой индикации на плате размерами 110 × 80 мм (рис. 314). На ней проводники цепи питания размещены со стороны установки микросхем, что позволило упростить рисунок печатных проводников и обойтись лишь тремя дополнительными проволочными перемычками в местах пересечения цепи R0 счетчиков DD11, DD13, DD15 и DD17. К этим же проводникам питания припаяны и блокировочные конденсаторы C6 и C7.

Индикаторы монтируй в последнюю очередь. Их проволочные выводы пропусти через отверстия в плате и некоторые из них временно припаяй к предназначенным для них опорным площадкам. Проверь, не допущена ли ошибка в правильности разводки выводов индикаторов. Затем размести на плате индикаторы так, чтобы их баллоны оказались придвинуты один к другим и цифры в них хорошо просмат-



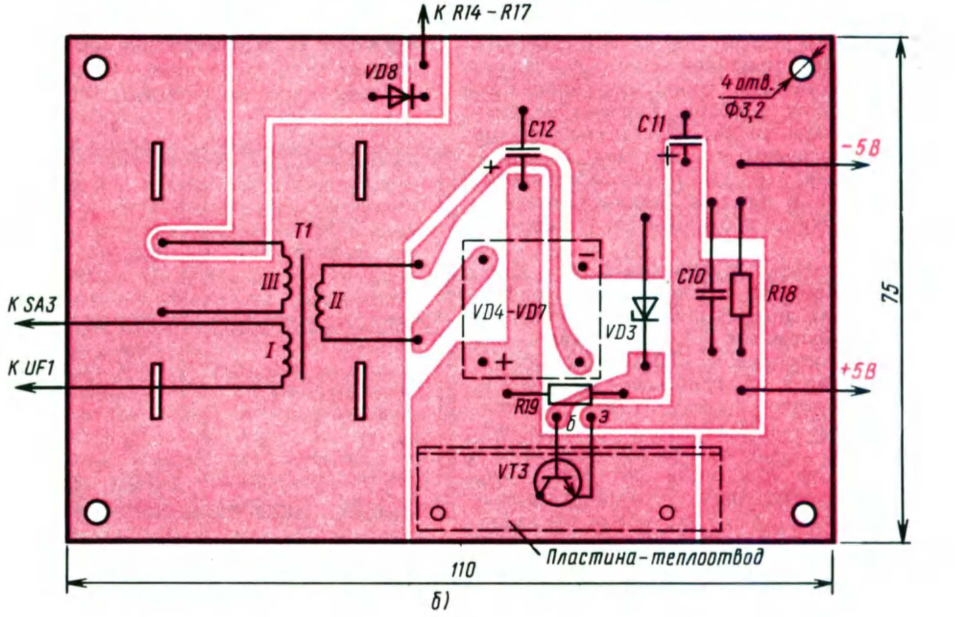


Рис. 313. Блок питания частотомера

ривались через отверстие в лицевой стенке корпуса. Только после этого выводы индикаторов припаяй к печатным площадкам: надень на них изолирующие трубочки и, осторожно изгибая по месту, припаяй их к токонесущим площадкам соответствующих выходов дешифраторов DD12, DD14, DD16 и DD18. На рис. 314, *б* эти соединения не показаны, чтобы не усложнять его. Некоторые выводы придется нарастить до длины, необходимой для соединения с дешифраторами.

Тщательно проверь монтаж и надежность паек. Прочисть острием ножа участки платы между соседними пайками выводов микросхем. Соедини плату гибкими проводниками в надежной изоляции с блоком питания и, соблюдая осторожность, подключи к сети. Индикаторы при этом должны высвечивать нули. Если теперь проводник цепи R0-входов счетчиков, который должен соединяться с выводом 8 элемента DD10.3 устройства управления, замкнуть временно на общий («заземленный») проводник и на вход C1 (вывод 14) счетчика DD11 подать от генератора импульсы, следующие с частотой повторения 1...3 Гц, этот узел частотомера будет работать в режиме счета: индикатор HL1 станет высвечивать единицы, HL2 — десятки, HL3 — сотни, а HL4 — тысячи импульсов. После 9999 импульсов на индикаторах появятся нули и начнется счет следующего цикла импульсов, поступающих на вход счетчика от генератора.

В случае неполадок в этом узле проверяй и испытывай каждый разряд блока индикации раздельно с помощью светодиодного или транзисторного индикаторов или, что лучше, электронного осциллографа.

Далее монтируй и испытывай блок образцовых частот (рис. 315). В нем, как и в счетчике с блоком цифровой индикации, проводники цепи питания и блокировочные конденсаторы размещены на плате со стороны установки микросхем. Никаких дополнительных проволочных перемычек в монтаже нет.

Может случиться, что у тебя не окажется кварцевого резонатора на частоту 1 МГц, т. е.

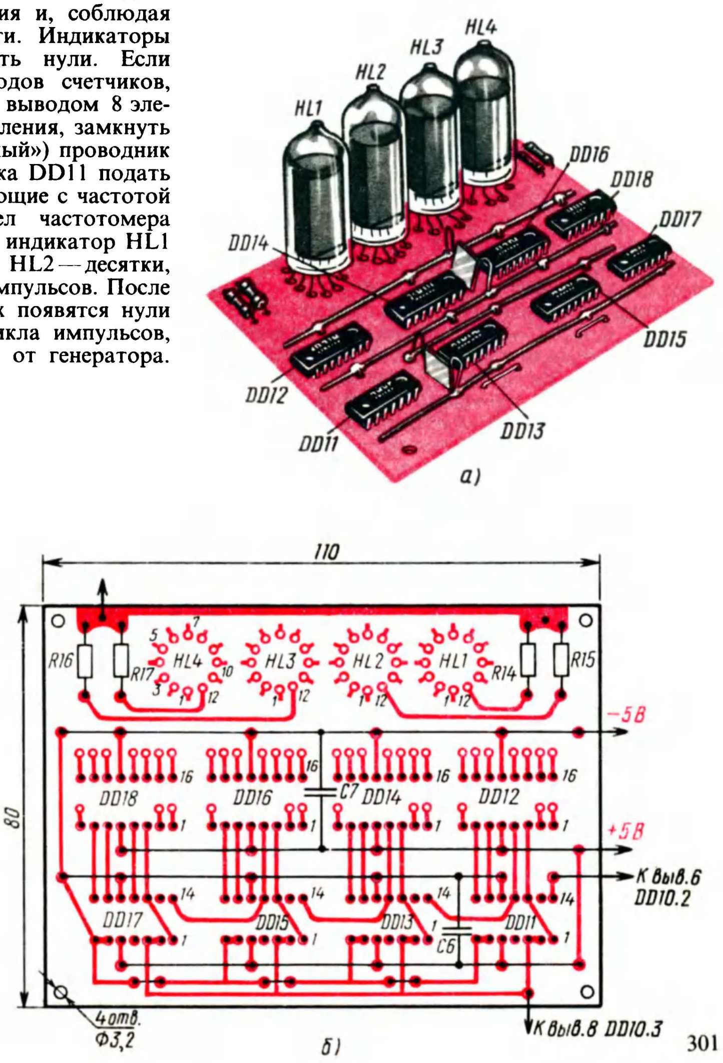
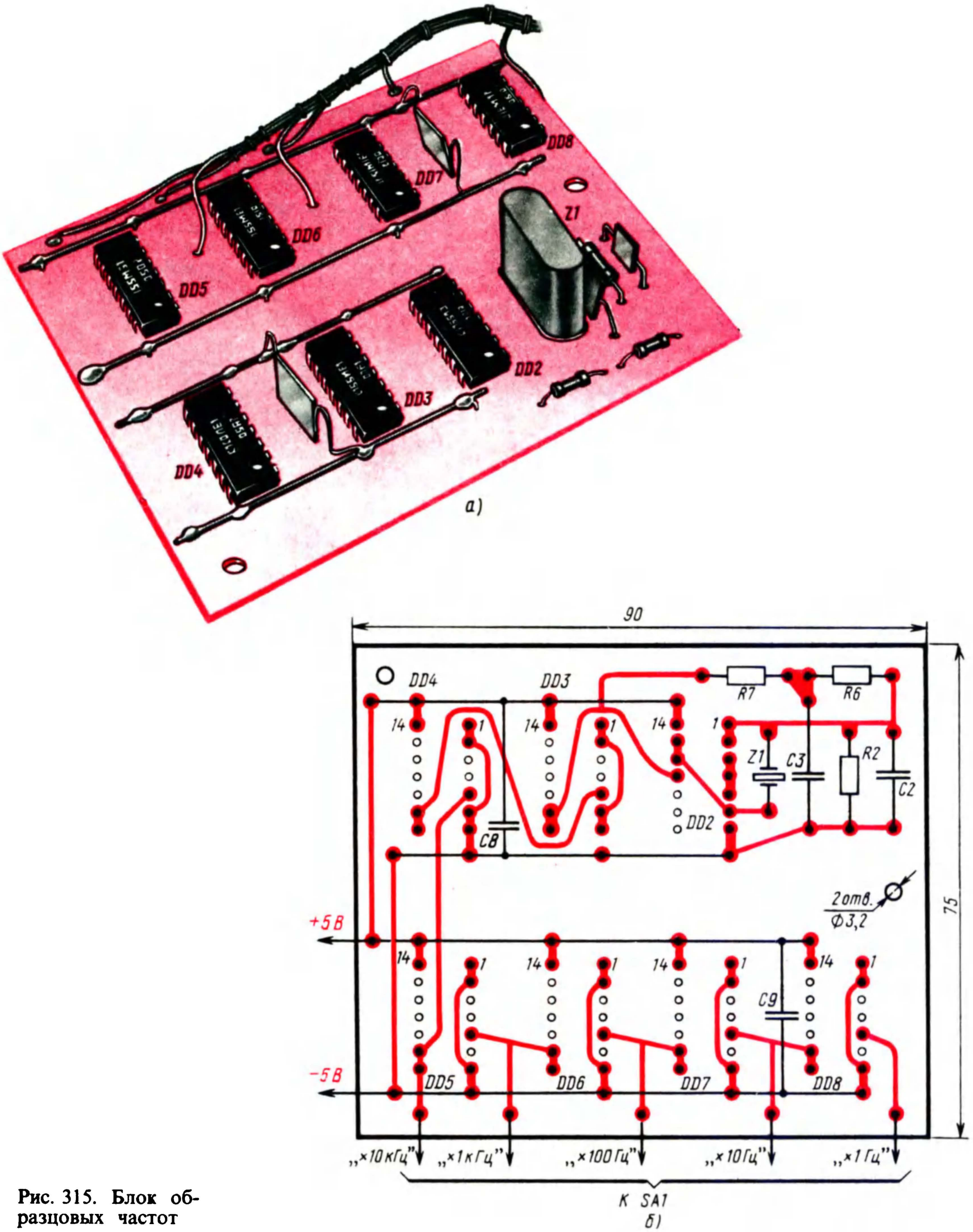

HL4
HL3
HL2
HL1
DD16
DD18
DD17
DD14
DD15
DD12
DD13
DD11
а)
110
80
R16
R17
5
7
HL4
10
3
1
12
HL3
1
12
HL2
1
12
HL1
1
12
R14
R15
−5В
16
DD18
DD16
16
C7
DD14
16
DD12
16
1
1
1
1
+5В
К выв.6 DD10.2
14
14
14
14
DD17
DD15
DD13
C6
DD11
1
1
1
1
1
4 отв.
Ф3,2
К выв.8 DD10.3
б)

Рис. 314. Плата счетчика импульсов с блоком цифровой информации



DD8
DD7
Z1
DD6
DD5
DD2
DD3
DD4
а)
90
DD4
DD3
R7
R6
14
1
14
1
14
1
Z1
C3
R2
C2
DD2
C8
2 отв.
Ф3,2
75
+5 В
−5 В
14
1
14
1
14
1
C9
14
1
DD5
DD6
DD7
DD8
„×10 кГц"
„×1 кГц"
„×100 Гц"
„×10 Гц"
„×1 Гц"
К SA1
б)

Рис. 315. Блок образцовых частот

такого, как использованный в описываемом блоке образцовых частот. Можно ли заменить его другим резонатором? Да, можно! Практически подойдет любой другой с резонансной частотой от 100 кГц до 10 МГц. В случае использования резонатора на частоту 100 кГц отпадет надобность в микросхеме DD3 первой ступени делителя частоты и сигнал с выхода генератора можно будет подавать сразу на вход С микросхемы DD4. Делитель частоты станет четырехступенным. В том же случае, если резонатор на частоту 10 МГц, то делитель частоты придется дополнить еще одной микросхемой К155ИЕ1, чтобы частота импульсов на его выходе была 1 Гц.

А если частота имеющегося резонатора, скажем, 3 или 6 МГц? В обоих из этих случаев делитель частоты придется дополнить микросхемой К155ИЕ2, включив ее на соответствующий коэффициент деления, чтобы частота пульсаций на ее выходе была 1 МГц. Так, чтобы коэффициент счета микросхемы К155ИЕ2 был 3, надо соединить между собой ее выводы 9 и 2, 8 и 3. При этом входом микросхемы должен быть вывод 1 (вход С2), а выходом — вывод 8. Для коэффициента счета 6 надо соединить выводы 12 и 1, 9 и 2, 8 и 3, входом же микросхемы будет вывод 14 (вход С1), а выходом, как и в предыдущем случае, вывод 8. Вообще же могут быть и другие варианты использования в генераторе блока образцовых частот резонаторов на различные частоты.

Дополнительную микросхему включай между генератором и микросхемой DD3 первой ступени делителя. Ее вход соединяй с выходом генератора (вывод 11 элемента DD2.3), а выход — с входом С микросхемы DD3. В любом случае придется внести соответствующую корректировку в рисунок печатных проводников монтажной платы.

После проверки монтажа подай на проводники питания микросхем напряжение 5 В от блока питания, а выход делителя частоты (вывод 5 микросхемы DD8) соедини непосредственно с входом С1 (вывод 14) счетчика DD11 уже проверенного блока цифровой индикации. Работая в режиме счета, он будет с частотой 1 Гц индицировать число импульсов, непрерывно поступающих от блока образцовых частот. Затем подобным образом подай на вход счетчика сигнал с выхода предпоследней ступени блока образцовых частот. Теперь частота смены цифр в индикаторах увеличится в 10 раз — глаза уже не смогут уловить смену цифр даже в индикаторе младшего разряда. Если все будет так, значит, можно считать, что генератор и вся цепочка микросхем делителя частоты работают исправно. Причинами неполадок могут быть только ошибки в монтаже, ненадежные контакты или случайные замыкания соседних выводов микросхем, например, из-за попадания капелек припоя между ними.

Формирователь импульсного напряжения с входным однотранзисторным усилителем и устройство управления с электронным клапаном смонтированы на одной общей плате размерами 90×60 мм (рис. 316). Токонесущие проводники цепи питания микросхем и транзисторов находятся на верхней стороне платы. К ним же припаян и блокировочный конденсатор С5. Здесь же установлена проволочная перемычка, соединяющая резистор R11 с базой транзистора VT2. Все резисторы МЛТ-0,125 или МЛТ-0,25. Номинальное напряжение оксидных конденсаторов С1 и С4 может быть 6 или 10 В. Диод VD1 на входе обязательно должны быть кремниевыми. Статический коэффициент передачи тока транзисторов VT1 и VT2 может быть в пределах 60...80.

Резистор R11 можно составить из двух резисторов сопротивлением 47...51 кОм и один из них установить на плате вместо проволочной перемычки.

Испытание этого узла частотомера начинай с проверки работоспособности формирователя импульсов сигнала измеряемой частоты совместно с другими, уже налаженными блоками прибора. Сначала подбором резистора R2 установи на коллекторе транзистора VT1 входного усилителя напряжение, равное 2,5...3 В. Измерь напряжение на коллекторе транзистора VT2 — оно должно быть в таких же пределах. Теперь вход S (вывод 4) D-триггера DD9.1 временно замкни на «заземленный» проводник, что равнозначно установке переключателя SA2 в положение «Счет», вывод 6 инвертора DD10.2 соедини с выводом 14 входа С1 счетчика DD11 и подай на входное гнездо X1 сигнал с выхода микросхемы DD8 блока образцовых частот. Индикаторы должны высвечивать последовательно цифры от 1 до 9999. При частоте импульсов, снимаемых с выхода микросхемы DD7 того же блока, скорость счета импульсов возрастет в 10 раз, снимаемых с выхода микросхемы DD6 — еще в 10 раз и т. д.

Затем перемычку, замыкающую вход S триггера DD9.1 на «заземленный» проводник, удали, что будет соответствовать установке переключателя SA2 в положение «Измерение», вывод 8 инвертора DD10.3 соедини с общим проводником входов R0 счетчиков DD11, DD13, DD15 и DD17 (предварительно удалив перемычку, которой этот провод ты во время испытания четырехразрядного счетчика замыкал на «заземленный» проводник), вход С (вывод 3) триггера DD9.1 — непосредственно с выходом блока образцовых частот (что равнозначно установке переключателя SA1 «Поддиапазон» в положение «×1 Гц») и одновременно с входным гнездом X1. Теперь индикатор HL1

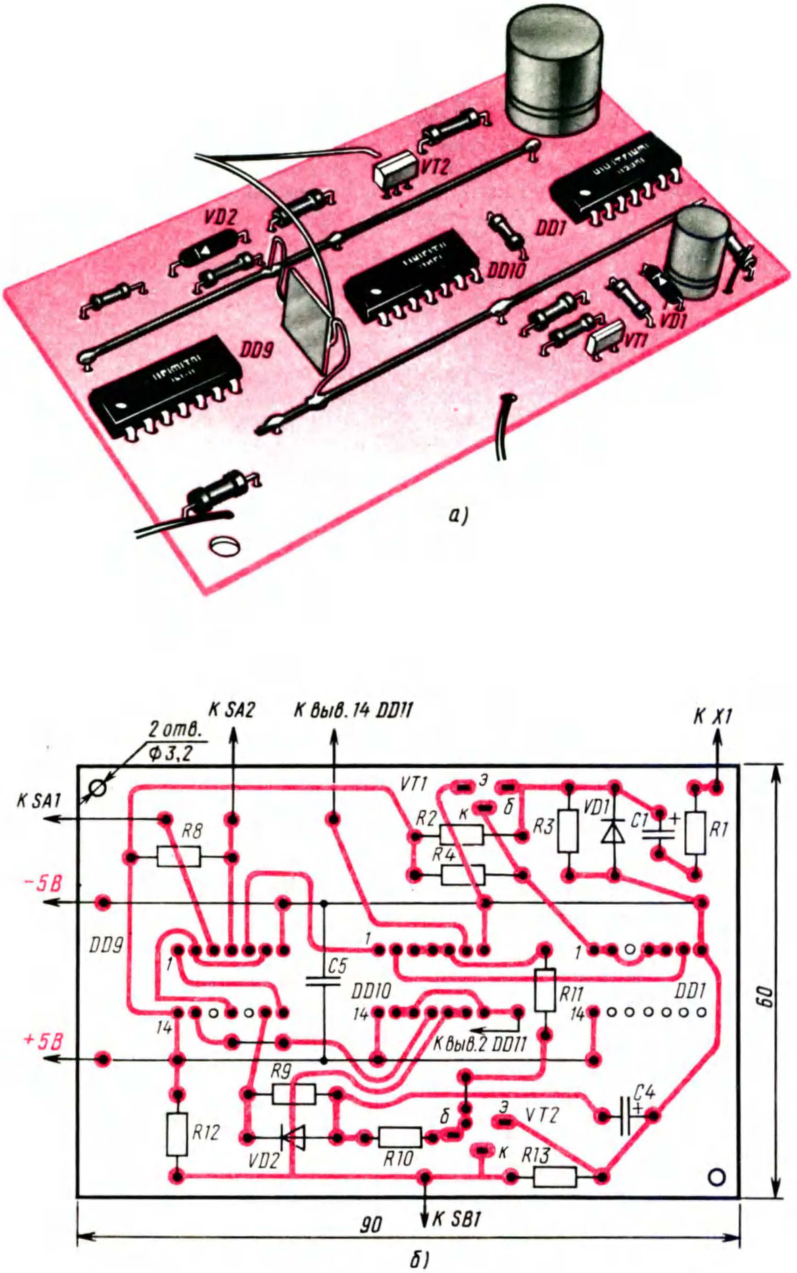

VT2
VD2
DD1
DD10
VD1
VT1
DD9
а)
К SA2
К выв. 14 DD11
К X1
2 отв.
Ф3,2
К SA1
R8
−5В
DD9
VT1
э
к
б
R2
R4
R3
VD1
C1
+
R1
1
C5
DD10
1
DD1
1
R11
14
14
14
+5В
К выв.2 DD11
R9
C4
+
э
VT2
б
R12
VD2
R10
к
R13
60
90
К SB1
б)

Рис. 316. Плата формирователя импульсного напряжения и устройства управления

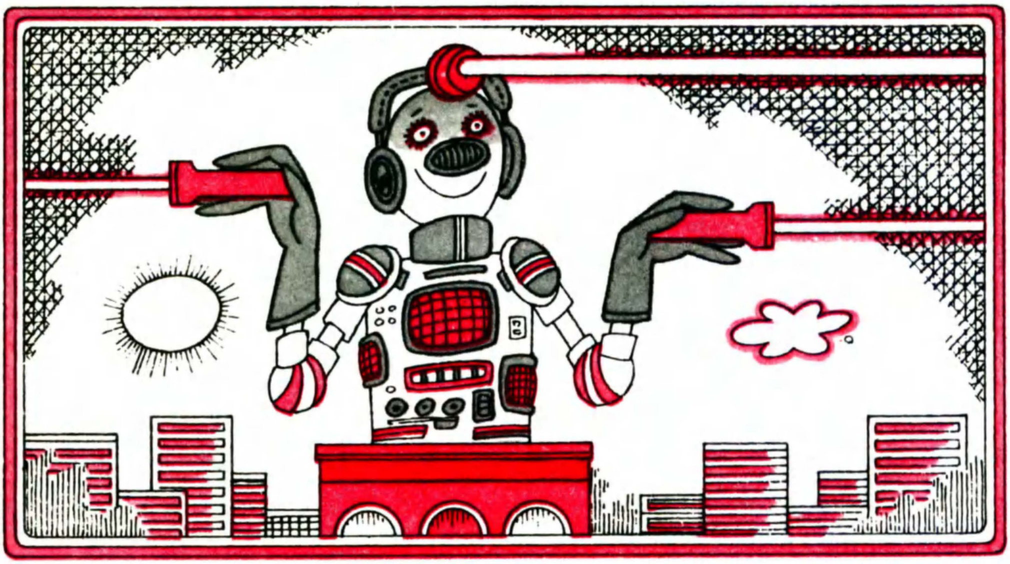
будет периодически, примерно через 1,5...2 с (в зависимости от длительности зарядки времязадающего конденсатора С4), высвечивать цифру 1 (1 Гц), а остальные — нули. При соединении гнезда X1 с выходом микросхемы DD7 блока образцовых частот индикаторы HL1 и HL2 должны высвечивать число 10 (10 Гц). Если затем входное гнездо соединить с выходом микросхемы DD6, индикаторы станут высвечивать число 100 (100 Гц), с выходом микросхемы DD5 — число 1000 (1 кГц).

После этого подай на вход частотомера переменное напряжение сети, пониженное трансформатором до 1...3 В — индикаторы зафиксируют частоту 50 Гц.

Закончив испытания блоков частотомера, прикрепи монтажные платы к пластине листового гетинакса, текстолита или другого изоляционного материала в соответствии с рис. 312, а саму пластину размести на дне шасси. Соедини платы между собой и с другими деталями частотомера, установленными на лицевой и задней стенках шасси, многожильными мотажными проводниками в поливинилхлоридной изоляции и окончательно проверь работу прибора в режимах «Счет» и «Измерение». Источниками сигнала по-прежнему могут служить импульсы, снимаемые с разных ступеней делителя блока образцовых частот, или генератор электрических колебаний.

* * *

Частотомер, который, надеюсь, обогатил твою измерительную лабораторию,— это лишь один из примеров практического применения цифровых микросхем повышенной интеграции в любительских конструкциях повышенной сложности. Но такие или подобные им микросхемы, и не только серии К155, радиолюбители широко используют и в конструируемых ими более простых приборах и устройствах. О некоторых из них ты узнаешь в следующей беседе.



БЕСЕДА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

АВТОМАТИКА

Однажды, проводя занятия радиокружка, я попросил ребят вспомнить и назвать автоматически действующие устройства и приборы, с которыми им приходится сталкиваться дома. Любые: тепловые, механические, электрические, электронные. Поначалу кое-кто даже растерялся: автоматы на заводах — понятно, а дома?

Однако это было временным замешательством. Назвали массу вещей и систем, содержащих элементы автоматики: авторучка, часы, центральное отопление, водопроводный вентиль, электрохолодильник, сливной бачок туалетной комнаты, электросчетчик, электрозвонок, барометр, регулятор нагрева электроутюга, плавкий предохранитель электросети и многое другое. Да, все это автоматы, своеобразные роботы. Взять хотя бы плавкий предохранитель. Стоит превысить ток, на который он рассчитан, как он тут же накалится и расплавится — перегорит. А если вспомнить различные детские игрушки-каталки с заводными и электрическими двигателями, игры-аттракционы? В них ведь тоже заложена автоматика. Еще больше автоматики ты можешь увидеть в школе, особенно в мастерских и физическом учебном кабинете, на улице, в кинотеатре...

А какие электромеханические и электронные автоматы, полезные для дома, школы, можно сделать своими руками? Вот об этом-то и пойдет разговор в этой беседе.

Но прежде поговорим об электрических датчиках, электромагнитных реле и электронных переключателях, являющихся важнейшими элементами автоматики. Начнем, с фотоэлементов — приборов, преобразующих световую энергию в электрическую.

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Одним из первых, кто занимался исследованием фотоэлектрических явлений природы, был русский ученый Александр Григорьевич Столетов. Будучи профессором Московского университета, он в 1888 г. провел такой опыт. Неподалеку друг от друга расположил металлический диск и тонкую металлическую сетку, укрепив их на стеклянных стойках. Диск соединил с отрицательным, а сетку — с положительным полюсами батареи. Между сеткой и батареей включил чувствительный электроизмерительный прибор — гальванометр с зеркальцем на подвижной рамке вместо стрелки. Против гальванометра укрепил фонарик, а под ним полосу бумаги с делениями — шкалу. Пучок света от фонаря направил на зеркальце гальванометра, а отраженный от него зайчик — на шкалу. Даже при незначительном токе зеркальце гальванометра поворачивалось, заставляя световой зайчик бежать по делениям шкалы.

На некотором расстоянии от диска и сетки А. Г. Столетов установил дуговой фонарь, свет которого, пронизывая сетку, освещал диск. Пока шторка дугового фонаря´была закрыта, световой зайчик покоился на нуле шкалы. Но стоило шторку приоткрыть, как зайчик тотчас начинал перемещаться по шкале, указывая на наличие тока в, казалось бы, разорванной цепи.

Опыт позволил ученому сделать вывод: свет «рождает» электрический ток. Это явление мы теперь называем фотоэлектрическим эффектом (от греческого слова «фото» — свет и латинского слова «эффект» — действие). А. Г. Столетов, кроме того, экспериментальным путем доказал, что некоторые материалы под действием света способны испускать электроны. В его опытах свет выбивал из металлического диска «рой» электронов, который притягивался положительно заряженной сеткой, образуя в цепи электрический ток. Этот ток мы сейчас называем фототоком.

В опытной установке А. Г. Столетова использовались два электрода, подобные электродам двухэлектродной лампы: диск — катод и сетка — анод. Когда диск освещался, в цепи возникал электрический ток, потому что в пространстве между электродами появлялся поток электронов, выбитых светом из диска — катода. Значение фототока зависело от свойств металла, из которого был сделан катод, напряжения батареи и освещенности катода.

Характерным представителем первых светочувствительных приборов в нашей стране был фотоэлемент ЦГ-3, внешний вид и устройство которого показаны на рис. 317. Такие фотоэлементы использовались, например, в кинопроекторах для преобразования пучка света, направленного на фонограмму ленты озвученного кинофильма, в электрический сигнал звуковой частоты. Это небольшая шарообразная стеклянная колба с двумя металлическими цилиндриками — выводами электродов. На внутреннюю поверхность колбы нанесен тончайший слой серебра, называемый подкладкой, а поверх него — слой цезия (буква Ц в названии прибора). Это — катод. Он соединен с выводом меньшего диаметра, обозначенным знаком минус. В центре колбочки на стержне укреплено металлическое кольцо — анод. Он соединен с выводом бóльшего диаметра, который обозначают знаком плюс.

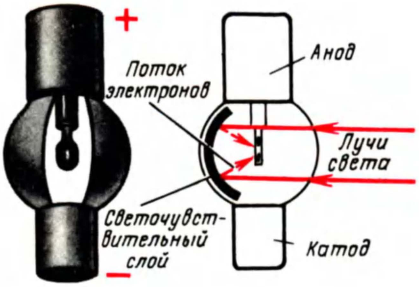


Рис. 317. Газонаполненный фотоэлемент ЦГ-3

Колба фотоэлемента наполнена нейтральным газом (буква Г в его названии), благодаря чему можно получить больший фототок. Объясняется это тем, что электроны, летящие от катода к аноду, сталкиваются по пути с атомами газа и выбивают из них новые электроны, которые также летят к аноду. Остатки атомов — положительные ионы — движутся к катоду. В результате общее количество электронов, летящих к аноду, получается бóльшим, чем в вакууме.

Возможная схема включения такого фотоэлектрического датчика в электрическую цепь показана на рис. 318. Здесь V — фотоэлемент, $R_н$ — его нагрузка, $U_{и.п}$ — источник высокого постоянного напряжения. Ток в цепи с фотоэлементом ЦГ-3 при сильной освещенности катода и напряжении на аноде 250 В не превышает 200 мкА. Но он почти в 200 раз больше тока при полном затемнении фотоэлемента. Это значит, что при перекрывании пучка света, направленного на фотоэлемент, фототок может измениться примерно от 1 до 200 мкА. Но ведь этот изменяющийся фототок можно усилить до значения, способного управлять другим электрическим прибором, например электродвигателем, включая его освещением и выключая затемнением фотоэлемента. Получится фотореле.

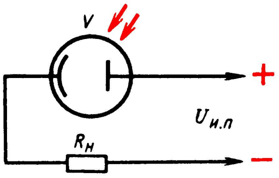


Рис. 318. Включение фотоэлемента в электрическую цепь

Катоды современных фотоэлементов делают из полупроводниковых материалов. При этом образование свободных электронов, способных вылетать из катодов, идет во много раз интенсивнее, чем при использовании катодов из металлов. Это фотоэлемент с внешним фотоэффектом. Так их называют потому, что у них электроны под действием света вылетают из катода в окружающее их пространство.

Другая группа фотоэлементов — приборы с внутренним фотоэффектом. Это фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и некоторые другие светочувствительные приборы.

Фоторезистор (рис. 319) представляет собой тонкий слой полупроводника, нанесенный на стеклянную или кварцевую пластинку, запрессованную в круглый, овальный или прямоугольный пластмассовый корпус небольших размеров. Полупроводниковый слой с двух сторон имеет контакты для включения его в электрическую цепь. Электропроводность слоя полупроводника изменяется в зависимости от его освещенности: чем сильнее он освещен, тем меньше его сопротивление и, следовательно, больше ток, который через него проходит. Таким образом, этот прибор под действием света, падающего на него, также может быть использован для автоматического включения и выключения различных электрических приборов, механизмов.

Фотодиод, являющийся светочувствительным элементом с так называемым запирающим слоем, по своему устройству напоминает плоскостной полупроводниковый диод (рис. 320). На тонкую пластинку кремния, обладающую электронной электропроводностью, наплавлен тонкий слой бора. Проникая в кремний, атомы бора создают в нем зону с дырочной электропроводностью. Между ними образуется электронно-дырочный переход. Снизу на слой типа n нанесен сравнительно толстый контактный слой металла. Поверхность слоя типа p покрыта тончайшей, почти прозрачной пленкой металла, являющейся контактом этого слоя.

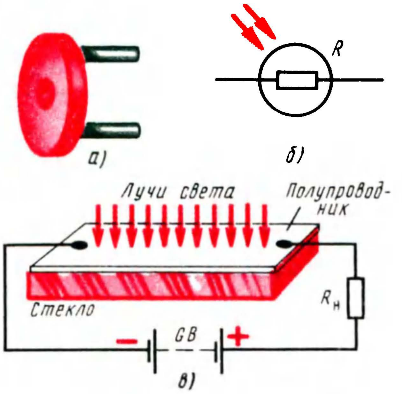


Рис. 319. Внешний вид (*а*), обозначение (*б*), устройство и включение (*в*) фоторезистора

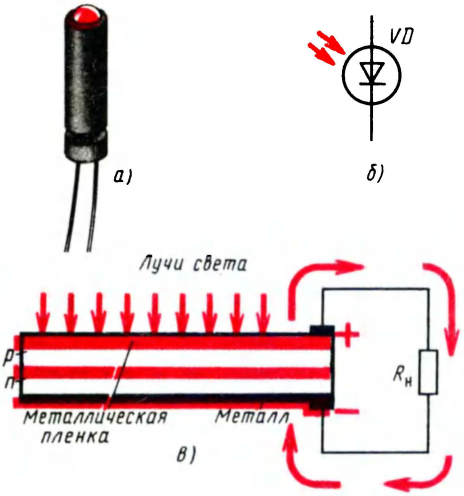


Рис. 320. Внешний вид (*а*), обозначение на схемах (*б*), устройство и схема включения (*в*) фотодиода

Действует фотодиод так. Пока он не подвергается световому облучению, его запирающий слой препятствует взаимному обмену электронов и дырок. При облучении свет проникает сквозь прозрачную пленку в слой p и рождает в нем электронно-дырочные пары. Дырки остаются в слое p, а электроны переходят в слой n. В результате верхний электрод заряжается положительно, а нижний — отрицательно. Если к этим электродам присоединить нагрузку, то через нее потечет постоянный ток. Следовательно, фотодиод является прибором, в котором световая энергия превращается непосредственно в электрическую.

Ты, вероятно, видел, а может быть, и сам имеешь фотоэкспонометр — прибор для определения выдержки при фотосъемке. Важнейшей частью этого прибора является кремниевый фотодиод. К нему подключен чувствительный гальванометр, по отклонению стрелки которого и определяют освещенность снимаемого предмета.

Фотодиод, имеющий площадь поверхности светочувствительного слоя около 1 см^2, при прямом солнечном освещении может дать ток примерно 20...25 мА при напряжении около 0,5 В. Но ведь фотодиоды, как и гальванические элементы, можно соединять в батареи, чтобы получать бóльшие напряжения и токи. Примерно так устроены, например, солнечные батареи, устанавливаемые на космических кораблях для питания аппаратуры.

Перспективы применения фотодиодов очень и очень заманчивы. И не только в автоматике. В жарких южных районах, например, где обилие солнечного света, от фотобатарей с большими площадями можно получать огромное количество электроэнергии. Из фотобатарей можно даже делать кровли домов: днем под действием света они будут заряжать аккумуляторные батареи, а по вечерам накопленная электроэнергия будет использоваться для освещения.

Фототранзисторы — светочувствительные приборы, основой которых служат транзисторы. Почти любой биполярный транзистор может быть превращен в фототранзистор. Дело в том, что у транзистора ток коллектора сильно зависит от освещенности коллекторного p-n перехода. Чтобы в этом убедиться, осторожно спили верхнюю часть корпуса германиевого транзистора, например серии МП39-МП42, включи транзистор в цепь постоянного тока и освети его (рис. 321). Если в коллекторную цепь включить миллиамперметр, он при сильном освещении кристалла транзистора покажет возрастающий до нескольких миллиампер коллекторный ток. Это свойство транзисторов, аналогичное свойствам фотоэлементов с внутренним фотоэффектом, широко используется радиолюбителями-экспериментаторами в самодельных приборах-автоматах.

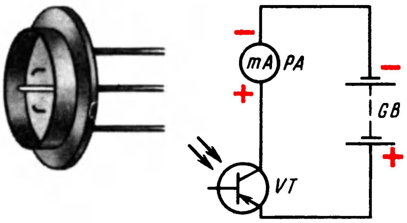


Рис. 321. Фототранзистор и схема его включения

Чем мощнее такие фотоэлементы и сильнее источники света, тем значительнее изменения коллекторных токов, тем эффективнее работа приборов. У транзистора серии П213, например, при освещении его кристалла электролампой мощностью 75...100 Вт коллекторный ток возрастает до 1 А и больше. Такой ток достаточен для питания, например, малогабаритного электродвигателя «Пионер», начинающего автоматически работать при освещении фоторезистора.

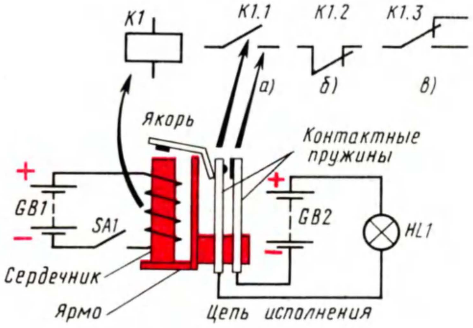


Рис. 322. Схематическое устройство, включение и обозначение электромагнитного реле и его контактов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Электромагнитное реле — это электромеханический прибор, который может управлять каким-либо другим электрическим устройством (механизмом), коммутировать электрические цепи.

Схематическое устройство и принцип работы электромагнитного реле иллюстрирует рис. 322. Оно представляет собой стержень из мягкого железа — сердечник, на который насажена катушка, содержащая большое число витков изолированного провода. На Г-образном корпусе, называемом ярмом, удерживается якорь — пластинка тоже мягкого железа, согнутая под тупым углом. Сердечник, ярмо и якорь образуют магнитопровод реле. На ярме же укреплены пружины с контактами, замыкающие и размыкающие питание исполнительной цепи, например цепи питания сигнальной лампы накаливания HL1. Пока ток через обмотку реле не идет, якорь под действием контактных пружин находится на некотором расстоянии от сердечника. Как только в обмотке появляется ток, его магнитное поле намагничивает сердечник и он притягивает якорь. В этот момент другой конец якоря надавливает на контактные пружины и замыкает исполнительную цепь. Прекращается ток в обмотке — исчезает магнитное поле, размагничивается сердечник, и контактные пружины, выпрямляясь и разрывая цепь исполнения, возвращают якорь реле в исходное положение.

В зависимости от конструктивных особенностей контактных пружин различают реле с нормально разомкнутыми, нормально замкнутыми и перекидными контактами. Нормально разомкнутые контакты при отсутствии тока в обмотке реле разомкнуты (рис. 322, *а*), а при токе в обмотке они замыкаются. Нормально замкнутые контакты, наоборот, при отсутствии тока в обмотке замкнуты (рис. 322, *б*), а при срабатывании реле они размыкаются. У перекидных контактов (рис. 322, *в*) средняя пружина, связанная с якорем и при отсутствии тока замкнутая с одной из крайних пружин, при срабатывании реле перекидывается на другую крайнюю пружину и замыкается с ней. Многие реле имеют не одну, а несколько групп контактных пружин, позволяющих с помощью импульсов тока, создающихся в обмотке реле, управлять на расстоянии несколькими цепями исполнения одновременно, что и используется в автоматике.

На принципиальных схемах обмотки электромагнитных реле обозначают прямоугольником и буквой К с цифрой порядкового номера реле в устройстве. Контакты этого реле обозначают той же буквой, но с двумя цифрами, разделенными точкой: первая цифра указывает порядковый номер реле, а вторая — порядковый номер контактной группы этого реле.

В зависимости от назначения электромагнитные реле имеют разные конструкции корпусов и якорей, пружинных контактов, различные данные обмоток. Но принцип работы всех реле одинаков: при некотором значении тока, протекающего через обмотку, реле срабатывает и его якорь, притягиваясь к намагниченному сердечнику, замыкает или размыкает контакты исполнительной цепи.

Для автоматически действующих устройств, описываемых в этой беседе, для аппаратуры телеуправления, которой будет посвящена специальная беседа, желательно использовать малогабаритные реле постоянного тока, например РЭС-9, РЭС-10, РСМ (рис. 323). Основные данные таких реле приведены в приложении 13.

Важнейшей характеристикой электромагнитного реле является его чувствительность, т. е. мощность тока, потребляемого обмоткой, при которой реле срабатывает. Чем меньше электрическая мощность, необходимая для срабатывания реле, тем реле чувствительнее. Как правило, обмотка более чувствительного реле содержит большее число витков и имеет большее сопротивление.

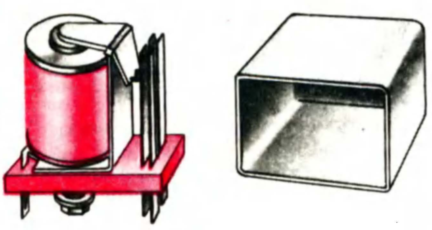


Рис. 323. Электромагнитное реле типа РСМ

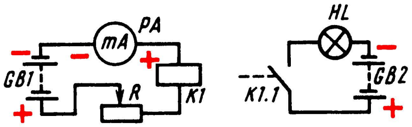


Рис. 324. Схема проверки электромагнитного реле

Для наших целей нужны будут реле, надежно срабатывающие при токе 6...10 мА и напряжении источника питания 4,5...9 В, что соответствует мощности 27...90 мВт. Сопротивление обмоток таких реле должно быть 120...700 Ом. Этим требованиям могут отвечать, например, реле РЭС-10 с паспортом РС4.524.302 или РС4.524.303. Сопротивление обмотки первого из этих реле 630, второго 120 Ом.

Проверить электромагнитное реле, данные которого тебе неизвестны, можно по схеме, приведенной на рис. 324. Потребуются батареи GB1 напряжением 9...12 В (две-три батареи 3336) и GB2 напряжением 4,5 В, переменный резистор R сопротивлением 1...1,5 кОм, миллиамперметр PA на ток 20...30 мА, сигнальная лампа HL (индикатор) на напряжение 3,5 В. При замыкании контактов K1.1 лампа HL загорается, а при размыкании гаснет. Изменяя сопротивление цепи резистором R и следя за показаниями миллиамперметра, легко определить токи, соответствующие моментам срабатывания и отпускания реле. Эти сведения облегчат и ускорят работы по налаживанию приборов-автоматов.

У большинства реле якорь возвращается в исходное положение при давлении на него контактных пружин. Если пружины немного отогнуть, чтобы они слабее давили на якорь, то чувствительность реле несколько улучшится. Таким способом можно подгонять токи срабатывания и отпускания реле.

Электромагнитное реле может быть и самодельным. Внешний вид и чертежи деталей реле, с изготовлением которого ты, полагаю, можешь справиться, показаны на рис. 325. Его конструкция и размеры напоминают реле типа РСМ. Разница между ними заключается в основном лишь в креплении пружинных контактов: у реле РСМ запрессованы в пластмассовое основание, а здесь они зажаты между изоляционными прокладками и прикреплены винтами к корпусу-ярму.

Как и промышленное, самодельное реле состоит из следующих деталей: обмотки электромагнита 1 с сердечником 2, якоря 3 со скобой 4, контактных пружин 5 со стопорными пластинами 6, выводных пластин 8 (7 — изоляционные прокладки), ярма 9. Изготовление реле начинай с ярма, используя для него хорошо

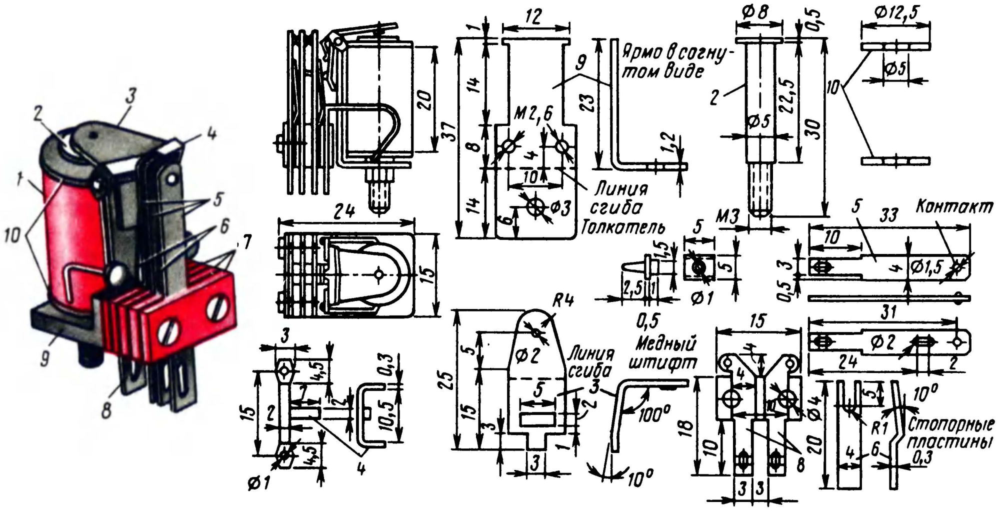


Рис. 325. Самодельное электромагнитное реле

отожженную листовую сталь толщиной 1,2...1,5 мм. Сердечник электромагнита можно выточить из керна подходящего телефонного реле или мягкой, хорошо отожженной стали. Щечки 10 обмотки электромагнита вырежь из любого изоляционного материала, включая хорошо проклеенный картон толщиной 0,5...0,8 мм. Насади щечки на сердечник, после чего поверхность сердечника и щечек покрой тонким слоем клея БФ-2. После высыхания клей станет изолятором и одновременно скрепит щечки. Для обмотки электромагнита используй провод ПЭВ-1 0,1. Намотку нужно стараться производить виток к витку до заполнения пространства между щечками. Чем большее число витков поместится на сердечнике, тем более чувствительным будет реле. Сопротивление аккуратно намотанной катушки электромагнита должно быть 200...220 Ом.

Якорь реле также делай из мягкой листовой стали толщиной 1,2...1,5 мм. Чтобы предотвратить залипание якоря из-за остаточного магнетизма сердечника, в верхней части его якоря согласно чертежу просверли отверстие диаметром 1 мм и вклепай в него медный штифт. Высота штифта со стороны сердечника должна быть 0,1...0,2 мм. К нижней части якоря клеем БФ-2 приклей толкатель, сделанный из органического стекла.

Сборку реле производи строго по чертежу. Чем плотнее сердечник будет прилегать к ярму, тем меньше будут потери в магнитопроводе и тем чувствительнее будет реле. Ход якоря в собранном реле может быть от 0,5 до 0,75 мм, в то время как ход средней контактной пружины в месте контакта должен быть равен 1 мм. Выводами обмотки реле служат латунные или жестяные пластинки. Реле крепи на монтажной плате с помощью гайки, навертывая ее на «хвостик» сердечника.

Собранное реле должно надежно срабатывать от источника постоянного тока напряжением 4...4,5 В.

ЭЛЕКТРОННОЕ РЕЛЕ

И все же чувствительность электромагнитных реле, о которых я здесь рассказал, мала, чтобы реагировать на изменения тока в цепи фотоэлемента, фоторезистора или иного датчика электрических сигналов. Только так называемые поляризованные реле, обладающие очень высокой чувствительностью, могут срабатывать при малых мощностях электрических сигналов.

Невольно возникает вопрос: как повысить чувствительность электромагнитного реле? Сделать это можно с помощью транзисторных усилителей электрических сигналов. Такие усилители в сочетании с электромагнитными реле называют электронными реле.

Схема простейшего электронного реле показана на рис. 326, *а*. Это обычный однотранзисторный усилитель тока, работающий в режиме переключения, в коллекторную цепь которого включено электромагнитное реле. В зависимости от структуры транзистора и полярности

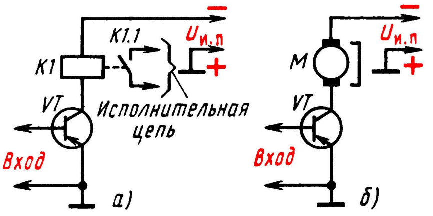


Рис. 326. Схема электронного реле

управляющего сигнала, поданного на вход усилителя, транзистор закрывается (для транзистора структуры p-n-p — при положительном напряжении на базе) либо, наоборот, открывается (при отрицательном напряжении на базе транзистора p-n-p). Когда транзистор закрыт, сопротивление его участка эмиттер-коллектор велико и ток коллектора не превышает 20...25 мкА, чего слишком мало для срабатывания реле. В это время контакты К1.1 реле К1 разомкнуты и исполнительная цепь не включена. Когда же транзистор открывается, сопротивление его участка эмиттер — коллектор резко уменьшается почти до нуля и ток коллектора возрастает до значения, необходимого для срабатывания реле — включается исполнительная цепь.

Запомни очень важное условие: для четкой работы электронного реле напряжение его источника питания должно быть на 20...30% больше напряжения срабатывания используемого в нем электромагнитного реле.

В коллекторную цепь транзистора вместо электромагнитного реле можно включить иной электрический прибор, например маломощный электродвигатель М, как показано на рис. 326, *б*. Получится бесконтактное электронное реле. В этом случае ротор электродвигателя станет вращаться всякий раз, когда открывается транзистор. Вполне понятно, что ток, проходящий через транзистор, не должен превышать допустимого для него значения.

Электронное реле — обязательный элемент большей части электронных автоматов, включающих и выключающих те или иные исполнительные механизмы.

ФОТОРЕЛЕ

Ток светочувствительного элемента, изменяющийся под действием падающего на него света, мал. Но если этот ток усилить, а на выход усилителя включить электромагнитное реле, то получится фоторелеустройство, позволяющее при изменении силы света, падающего на его светочувствительный элемент, управлять различными другими приборами или механизмами.

Структурная схема такого автоматически действующего устройства и графики токов, иллюстрирующие его работу, изображены на рис. 327. Допустим, что фоторезистор R (на его месте может быть любой другой светочувствительный элемент) затемнен, например закрыт рукой. В это время (на графиках — участки *Оа*) ток цепи фотоэлемента $I_{\text{ф}}$ и ток усилителя $I_{\text{у}}$ малы, а ток в исполнительной цепи $I_{\text{исп}}$ вообще отсутствует, так как контакты К1.1 реле К1 разомкнуты. Если теперь открыть фотоэлемент или направить на него пучок света, токи фотоэлемента и усилителя резко увеличатся (на графиках — участки *аб*), сработает электромагнитное реле и своими контактами включит цепь питания механизма исполнения. Но стоит снова затемнить фотоэлемент, как тут же разомкнется (или переключится) цепь исполнения.

Главное в работе фотореле — перепад тока, заставляющий срабатывать электромагнитное реле. При этом в зависимости от выбранного усилителя электромагнитное реле может срабатывать не при освещенном, а, наоборот, при затемненном фотоэлементе. Итог же один — свет, падающий на фотоэлемент, управляет цепью исполнительного механизма, которым могут быть электродвигатель, система освещения, приборы и многое другое.

Предлагаю для экспериментов и конструирования три варианта фотореле с разными светочувствительными датчиками.

Схема первого варианта фотореле приведена на рис. 328, *а*. В нем в качестве фотоэлемента используется маломощный низкочастотный транзистор VT1 из серий МП39—МП42. Отбери транзистор с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 50 и с возможно меньшим током $I_{\text{КБО}}$. Верхнюю часть корпуса транзистора осторожно спили лобзиком, а затем поверхность кристалла очисти от попавших на нее металлических опилок. Во избежание попадания пыли и влаги на кристалл корпус необходимо закрыть тонкой прозрачной полиэтиленовой или лавсановой пленкой. Получается фототранзистор.

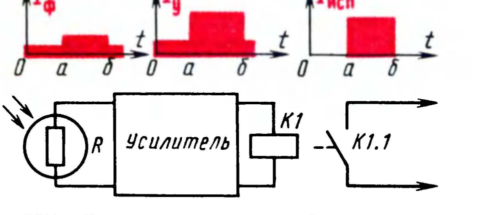


Рис. 327. Структурная схема фотореле, в котором функцию светочувствительного элемента выполняет фоторезистор

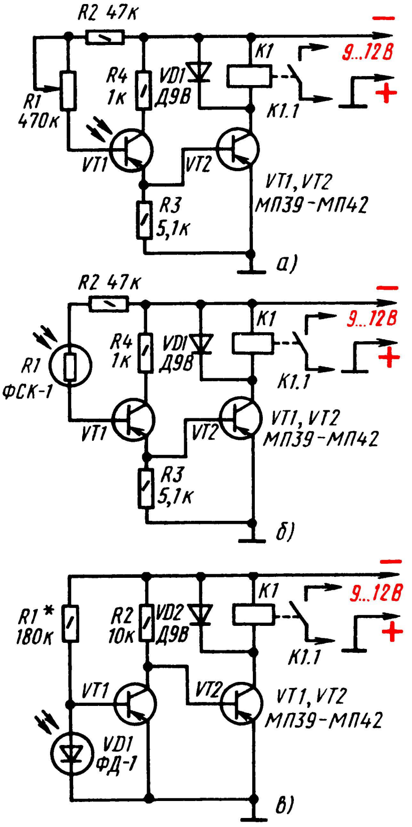


Рис. 328. Варианты фотореле

Как работает такой вариант фотореле? В исходном состоянии, когда светочувствительный элемент затемнен, оба транзистора закрыты. При освещении кристалла транзистора VT1 обратное сопротивление его коллекторного перехода уменьшается, что ведет к резкому возрастанию тока коллектора. Этот ток усиливается транзистором VT2. При этом реле K1, являющееся нагрузкой транзистора VT2, срабатывает и своими контактами K1.1 включает цепь управления.

Регулировка фотореле сводится к установке режимов работы транзисторов. Надо подобрать такое сопротивление резистора R1, чтобы при затемненном фототранзисторе через обмотку реле протекал ток 5...8 мА. Резистор R2 в этом автомате выполняет роль ограничителя тока базовой цепи транзистора VT1, а R4 — коллекторной. Электромагнитное реле K1 может быть типа РСМ, РЭС с обмоткой сопротивлением 200...700 Ом или самодельное.

Фотореле будет работать значительно лучше, если световой поток будет попадать на фототранзистор через небольшую линзу, в фокусе которой находится его кристалл.

Схема второго варианта фотореле показана на рис. 328, *б*. Оно отличается от первого варианта фотореле в основном лишь тем, что в нем светочувствительным датчиком служит фоторезистор R1. Включен он в цепь базы транзистора VT1 последовательно с резистором R2, ограничивающим ток в этой цепи. Темновое сопротивление фоторезистора велико. Коллекторный ток транзистора в это время мал. При освещении фоторезистора его сопротивление уменьшается, что приводит к увеличению тока базовой цепи. Возросший и усиленный двумя транзисторами фототок течет через обмотку электромагнитного реле K1 и заставляет его срабатывать — контакты K1.1 включают цепь управления.

Для такого варианта фотореле можно использовать фоторезисторы типов ФСК-1, ФСК-2. Электромагнитное реле должно быть рассчитано на ток срабатывания 10...12 мА (сопротивление обмотки 200...400 Ом).

В третьем варианте фотореле, схема которого изображена на рис. 328, *в*, роль датчика выполняет фотодиод VD1 типа ФД-1 или ФД-2. Электромагнитное реле K1 такое же, как в первых вариантах фотореле. Здесь фотоэлемент и резистор R1 образуют делитель напряжения источника питания, с которого на базу транзистора VT1 подается отрицательное напряжение смещения. Пока фотодиод не освещен, его обратное сопротивление (а включен он в цепь делителя в обратном направлении) очень большое. В это время напряжение смещения на базе транзистора определяется в основном только сопротивлением резистора R1. Транзистор VT1 при этом открыт, а транзистор VT2 закрыт. Контакты K1.1 реле K1 разомкнуты. Но стоит осветить фотодиод, как тут же его обратное сопротивление и падение напряжения на нем уменьшается, отчего транзистор VT1 почти закроется, а транзистор VT2, наоборот, откроется. При этом реле K1 сработает и его контакты K1.1, замыкаясь, включат исполнительную цепь. При затемнении фотодиода его обратное сопротивление вновь увеличится, транзистор VT1 откроется, транзистор VT2 закроется, а реле K1, отпуская, своими контактами разорвет исполнительную цепь.

Какова в этих фотореле роль диодов, шунтирующих обмотки электромагнитных реле? В те моменты времени, когда транзистор усилителя переходит из открытого состояния в закрытое и ток коллекторной цепи резко уменьшается, в обмотке реле возникает электродвижущая сила самоиндукции, поддерживающая убывающий ток в коллекторной цепи.

При этом мгновенное суммарное напряжение ЭДС самоиндукции и источника питания электронного реле значительно превышает максимальное допустимое напряжение на коллекторе и p-n переходы транзистора могут быть пробиты. По отношению к источнику питания автомата диод включен в обратном направлении, а по отношению к ЭДС самоиндукции — в прямом и, следовательно, гасит ее, предотвращая тем самым порчу транзисторов.

Диод может быть как точечным, так и плоскостным, с обратным напряжением не менее 30 В.

Питать фотореле и освещающую его лампу можно как от батарей, так и от выпрямителя с выходным напряжением 9...12 В. Выпрямитель можно смонтировать в том же светонепроницаемом ящичке (рис. 329), где будет само фотореле. Прямой посторонний яркий свет не должен попадать на датчик фотореле.

Четкость срабатывания любого из фотореле, о которых я здесь тебе рассказал, в значительной степени зависит от его осветителя. Наиболее эффективно фотореле будет работать, если осветитель дает узкий и яркий пучок света в направлении точно на фотоэлектронный датчик. Осветитель можно сделать в виде металлической или картонной трубки длиной 120...220 и диаметром 28...30 мм. Внутри трубки на одном конце укрепи малогабаритную лампу накаливания, рассчитанную на напряжение 9...12 В (например, автомобильную), а на другом — собирательную линзу (например, круглое очковое стекло) с фокусным расстоянием 100...120 мм. Взаимное расположение линзы и лампы в осветителе подбери опытным путем так, чтобы свет выходил из осветителя узким пучком.

Как можно использовать фотореле? По-разному. Можно, например, фотореле установить у входа в школу, чтобы оно включало световое табло «Добро пожаловать». Или смонтировать его перед стенной газетой, чтобы автоматически включалась подсветка газеты, когда к ней подходят ребята. Его можно установить на модели конвейера, имитирующего погрузку ящиков с готовой продукцией. Всякий раз, когда «ящик» пересекает луч света, срабатывает электромеханический счетчик, включенный в исполнительную цепь, или вспыхивает сигнальная лампа.

Фотореле — полезнейшее учебно-наглядное пособие для физического кабинета школы. Большим успехом оно будет пользоваться на выставках и вечерах, посвященных радиоэлектронике.

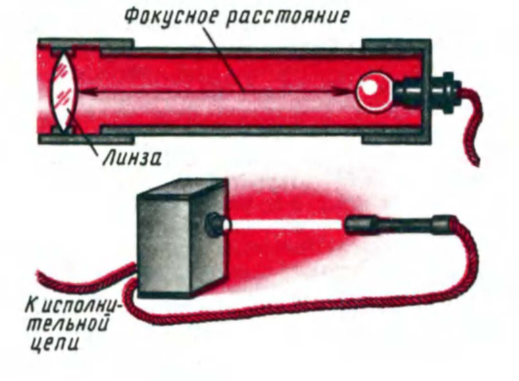


Рис. 329. Конструкции фотореле и осветителя

АВТОМАТ ВКЛЮЧЕНИЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Светочувствительный датчик фотореле можно разместить и на улице, защитив его от прямого попадания искусственного света. Тогда реле будет срабатывать с наступлением ночного времени суток и автоматически включать питание лампы уличного освещения или лестничной клетки, а утром выключать ее.

Принципиальную схему возможного варианта такого автомата ты видишь на рис. 330. Он аналогичен фотореле по схеме на рис. 328, *б*, но более чувствителен, так как для его питания используется более высокое напряжение постоянного тока — около 18 В. Контакты K1.1 электромагнитного реле K1, используемого в автомате, нормально замкнутые.

В вечернее и ночное время суток фоторезистор R1 (ФСК-1) освещен очень слабо и его сопротивление составляет сотни килоом. При этом коллекторные токи транзистора VT1, в базовую цепь которого включен фоторезистор, и транзистора VT2, база которого соединена непосредственно с эмиттером первого транзистора, не превышает тока опускания электромагнитного реле K1. В это время осветительная лампа HL1, подключенная к электроосветительной сети через нормально замкнутые контакты K1.1 реле, горит.

С наступлением рассвета фоторезистор освещается все сильнее и его сопротивление уменьшается до 80...100 кОм. При этом коллекторные токи транзисторов усилителя увеличиваются. При токе 20...25 мА реле срабатывает и его контакты, размыкаясь, разрывают цепь питания осветительной лампы. А вечером, когда сопротивление фоторезистора снова начнет увеличиваться, а коллекторные токи соответственно будут уменьшаться, реле отпустит и замыкающимися контактами включит освещение.

Выпрямитель автомата двухполупериодный. Он выполнен на диодах VD4—VD7 Д226Б

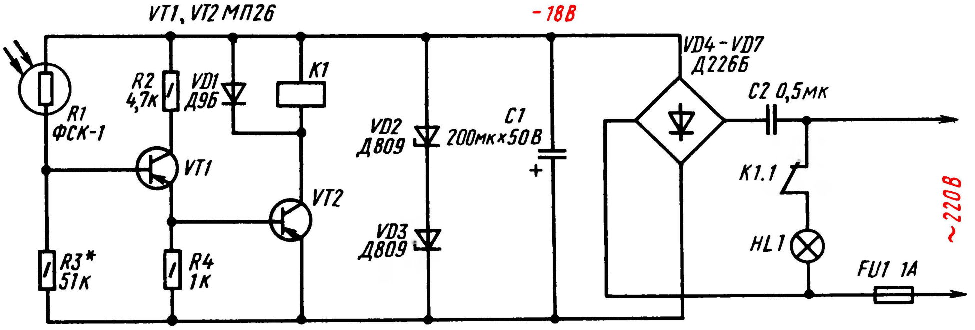


Рис. 330. Схема автомата включения освещения

(или Д7Ж), включенных по мостовой схеме. Выпрямленное напряжение сглаживается фильтрующим конденсатором C1 и стабилизируется двумя стабилитронами VD2 и VD3 серии Д809 (можно Д814Б), соединенными последовательно. Номинальное напряжение конденсатора C1 не должно быть меньше 25 В. Конденсатор C2, роль которого аналогична резистору, гасит избыточное напряжение переменного тока, подаваемое от сети к выпрямителю. Конденсатор должен быть бумажным, на номинальное напряжение не менее 300 В. Для сети напряжением 127 В емкость его должна быть 1 мкФ.

В автомате используются транзисторы серии МП26 (можно МП20, МП21, МП25 с любым буквенным индексом, МП40А), рассчитанные на более высокое, чем аналогичные им маломощные транзисторы, коллекторное напряжение. Реле K1 типа РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131), РСМ-1 (паспорт Ю.171.81.37) или другое с обмоткой сопротивлением 650...750 Ом и нормально замкнутыми контактами.

Если автомат смонтирован из заведомо исправных деталей, то единственно, что, возможно, придется сделать дополнительно, это подобрать момент выключения осветительной лампы HL1, соответствующий определенной освещенности фоторезистора. Для увеличения задержки времени выключения осветительной лампы питающее напряжение автомата надо уменьшить на 3...4 В, а для уменьшения, т. е. более раннего выключения, наоборот, увеличить на 3...4 В. Это можно сделать при использовании в блоке питания стабилитронов с другими напряжениями стабилизации: в первом случае — стабилитронов Д808 или одного (вместо двух) стабилитрона Д813, во втором — трех стабилитронов Д808 или двух стабилитронов Д811 или Д814Г. Чувствительность автомата можно также регулировать подбором резистора R3.

РЕЛЕ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ

Если ты увлекаешься фотографией, то можешь сделать прибор, который бы автоматически включал лампу фотоувеличителя на время выдержки для печати. Такую автоматизацию включения и выключения того или иного устройства ты можешь сделать с помощью электронного реле выдержки времени.

Автомат выдержки времени можно собрать по схеме, изображенной на рис. 331. Оба транзистора автомата работают в режиме переключения, обеспечивая надежное срабатывание реле K1 при подаче на вход транзистора VT1 напряжения около 2 В. Время срабатывания реле определяется временем разрядки конденсатора C1 через резисторы R2, R3, эмиттерный переход транзистора VT1 и резистор R4. Изменяя сопротивление переменного резистора R3, можно устанавливать время выдержки примерно от 0,1 до 5 с.

Работает реле времени следующим образом. В исходном состоянии, когда контакты кнопочного выключателя SB1 разомкнуты, напряжение на конденсаторе C1 равно нулю. В это время оба транзистора закрыты, ток через обмотку электромагнитного реле K1 практически не течет и его контакты K1.1, включающие питание лампы увеличителя HL1, разомкнуты. При кратковременном нажатии кнопки SB1 конденсатор C1 заряжается и тут же начинает разряжаться через уже знакомые тебе цепи. С момента нажатия кнопки до момента, когда конденсатор C1 разрядится до напряжения 2 В, реле K1 остается включенным, замыкая своими контактами цепь питания лампы фотоувеличителя. Лампа выключится, как только напряжение на обкладках конденсатора C1 станет меньше 2 В. Чтобы снова включить лампу фотоувеличителя, надо опять нажать кнопку SB1 пуска автомата. Время нажатия

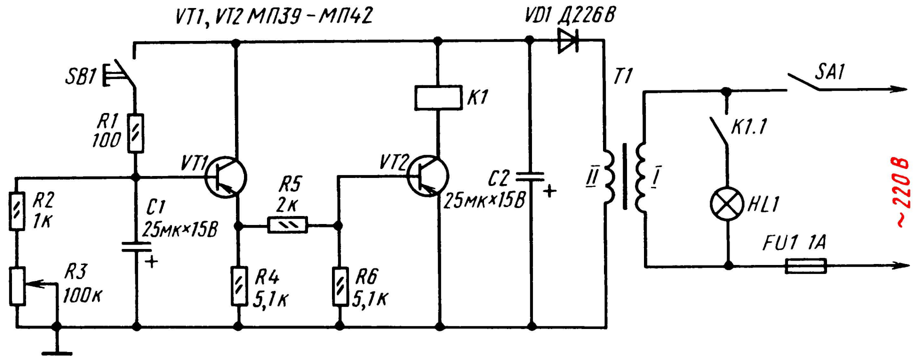

VT1, VT2 МП39-МП42
VD1 Д226В
SB1
R1 100
VT1
R2 1к
C1 25мк×15В
R3 100к
R5 2к
R4 5,1к
R6 5,1к
VT2
K1
C2 25мк×15В
T1
II
I
SA1
K1.1
HL1
FU1 1А
~220 В

Рис. 331. Схема реле выдержки времени

пусковой кнопки автомата входит в общее время выдержки.

Питается автомат от сети переменного тока через трансформатор T1, понижающий напряжение сети до 10...12 В, и однополупериодный выпрямитель на диоде VD1 серии Д226 или Д7 с любым буквенным индексом. Конденсатор C2 сглаживает пульсации выпрямленного напряжения.

Сетевой трансформатор T1 наматывай на магнитопроводе из пластин Ш-16, толщина набора пластин 18 мм. Обмотка I, рассчитанная на напряжение сети 220 В, должна содержать 2800 витков провода ПЭВ-1 0,12 (для сети напряжением 127 В — 1600 витков), обмотка II — 100 витков провода ПЭВ-1 0,3. На выходе выпрямителя должно быть напряжение не менее 10 В.

Электромагнитное реле типа РЭС-10 (паспорт РС4.525.302, РС4.524.303) или самодельное. Данные остальных деталей автомата указаны на его схеме.

После того как реле времени смонтируешь и убедишься в его работоспособности, откалибруй переменный резистор R3. Калибровка резистора сводится к тому, что для положений его движка через каждые 10...15° по хронометру определяется время включения реле. Полученные данные нанеси в виде шкалы вокруг ручки резистора, снабженной стрелкой-указателем.

Только ли для фотопечати пригоден такой прибор-автомат? Нет, конечно, его можно приспособить для включения на заданное время других приборов, например электродвигателей моделей на выставке работ юных техников.

АКУСТИЧЕСКОЕ РЕЛЕ

Основой акустического или, что то же самое, звукового реле также служит электронное реле, а датчиком управляющих сигналов — микрофон или какой-либо другой преобразователь звуковых колебаний воздуха в электрические колебания звуковой частоты.

Схема наиболее простого варианта такого электронного автомата приведена на рис. 332. Рассмотри ее внимательно. Здесь многое, если

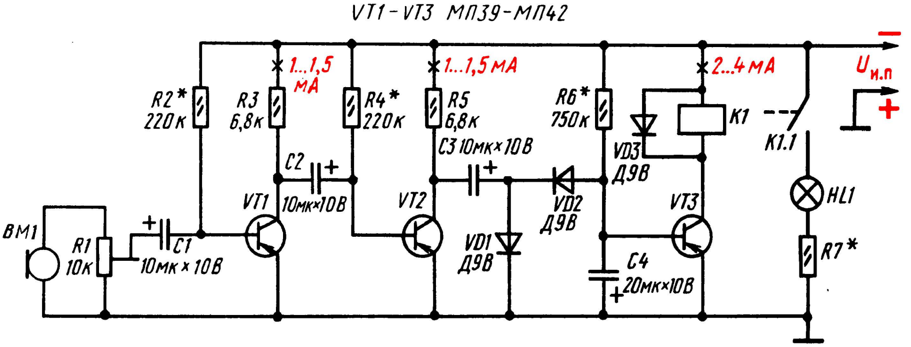

VT1-VT3 МП39-МП42
1...1,5 мА
1...1,5 мА
2...4 мА
R2* 220к
R3 6,8к
R4* 220к
R5 6,8к
R6* 750к
K1
K1.1
Uи.п
−
+
C2 10мк×10В
C3 10мк×10В
VD3 Д9В
VD2 Д9В
VD1 Д9В
VT1
VT2
VT3
BM1
R1 10к
C1 10мк×10В
C4 20мк×10В
HL1
R7*

Рис. 332. Схема акустического реле

не все, тебе должно быть знакомо. Микрофон BM1 выполняет функцию датчика управляющих сигналов. Транзисторы VT1 и VT2 образуют двухкаскадный усилитель колебаний ЗЧ, создаваемых микрофоном, а диоды VD1 и VD2, включенные по схеме удвоения напряжения,— выпрямитель этих колебаний. Каскад на транзисторе VT3 с электромагнитным реле K1 в коллекторной цепи и накопительным конденсатором C4 в базовой цепи — это электронное реле. Лампа накаливания HL1, подключаемая к источнику питания контактами K1.1 реле K1, символизирует исполнительную (управляющую) цепь автомата.

В целом автомат работает так. Пока в помещении, где установлен микрофон, сравнительно тихо, транзистор VT3 электронного реле практически закрыт, контакты K1.1 реле K1 разомкнуты и, следовательно, лампа исполнительной цепи не светится. Это исходный (дежурный) режим работы автомата. При появлении звукового сигнала, например шума или громкого разговора, колебания звуковой частоты, созданные микрофоном, усиливаются транзисторами VT1 и VT2 и далее выпрямляются диодами VD1, VD2. Диоды включены так, что выпрямленное ими напряжение поступает на базу транзистора VT3 в отрицательной полярности и одновременно заряжает накопительный конденсатор C4. Если звуковой сигнал достаточно сильный и накопительный конденсатор зарядится до напряжения 0,25...0,3 В, то коллекторный ток транзистора VT3 увеличится настолько, что реле K1 сработает и его контакты K1.1 включат исполнительную цепь — загорится сигнальная лампа HL1. Исполнительная цепь будет включена все время, пока на накопительном конденсаторе и на базе транзистора VT3 будет поддерживаться такое же или несколько большее отрицательное напряжение. Как только шум или разговор перед микрофоном прекратится, накопительный конденсатор почти полностью разрядится через эмиттерный переход транзистора, коллекторный ток уменьшится до исходного состояния, реле K1 отпустит, а его контакты, размыкаясь, обесточат исполнительную цепь.

Подстроечным резистором R1 можно изменять (как регулятором громкости) напряжение сигнала, поступающего от микрофона на вход усилителя ЗЧ, и тем самым регулировать чувствительность акустического реле.

Функцию микрофона может выполнять абонентский громкоговоритель или телефонный капсюль ДЭМ-4м. Статический коэффициент передачи тока транзисторов должен быть не менее 50. Электромагнитное реле может быть типа РЭС-9, РЭС-10, РКН с током срабатывания до 30...40 мА. Напряжение источника питания должно быть на 25...30% больше напряжения срабатывания подобранного электромагнитного реле. Сопротивление и мощность рассеяния резистора R7, зависящие от используемой сигнальной лампы HL1, рассчитай сам.

Приступая к налаживанию и испытанию акустического автомата, движок подстроечного резистора R1 поставь в нижнее (по схеме) положение и подбором резистора R6 установи в коллекторной цепи транзистора VT3 ток 2...4 мА. Он должен быть меньше тока отпускания электромагнитного реле. Затем параллельно резистору R6 подключи другой резистор сопротивлением 15...20 кОм. При этом коллекторный ток транзистора должен резко увеличиться, а реле сработать. Удали этот резистор — коллекторный ток должен уменьшиться до исходного значения, реле отпустить якорь, а лампа исполнительной цепи погаснуть. Так ты проверишь работоспособность электронного реле автомата.

Коллекторные токи транзисторов VT1 и VT2 (1...1,5 мА) устанавливай подбором резисторов R2 и R4.

Затем движок резистора R1 установи в верхнее (по схеме) положение и негромко произнеси перед микрофоном протяжный звук «а-а-а» — автомат сработает и включит исполнительную цепь. Он должен реагировать даже на негромкий разговор перед микрофоном, на хлопок в ладоши.

Проведи такой опыт. Параллельно конденсатору C4 подключи второй оксидный конденсатор емкостью 100...200 мкФ на номинальное напряжение 6...10 В. В коллекторную цепь транзистора VT3 включи миллиамперметр и, следя за его стрелкой, хлопни в ладоши. Что получилось? Коллекторный ток возрос, но электромагнитное реле не сработало. Хлопни в ладоши 5...10 раз подряд. С каждым хлопком коллекторный ток увеличивается, и, наконец, реле срабатывает и включает исполнительную цепь. Если звуковые сигналы прекратить, то через некоторое время ток в коллекторной цепи транзистора уменьшится до исходного, реле отпустит и выключит исполнительную цепь.

О чем говорит этот опыт? Электромагнитное реле автомата стало срабатывать и отпускать с задержкой времени. Объясняется это тем, что теперь требуется больше времени как для зарядки накопительного конденсатора, так и для его разрядки. Вывод напрашивается сам собой: подбором емкости накопительного конденсатора можно регулировать время включения и выключения исполнительной цепи.

Где и как можно применить такое акустическое реле? Например, использовать его как автомат «Тише». Для этого сигнальную лампу исполнительной цепи надо поместить в ящичек, одна из стенок которого выполнена из матового стекла, и на нем сделана надпись «Тише».

Как только уровень шума или громкость разговора в комнате превысит некоторый предел, установленный подстроечным резистором R1, световое табло тут же на него среагирует. Или, скажем, можно установить автомат вместе с малогабаритным микрофоном на самоходной модели или игрушке, а ее микроэлектродвигатель включить в исполнительную цепь вместо сигнальной лампы накаливания. Несколько хлопков в ладоши или команда голосом — и модель начинает двигаться вперед. А еще как? Подумай!

ЭЛЕКТРОННЫЙ СТОРОЖ

Простейшее сторожевое устройство можно смонтировать по схеме, приведенной на рис. 333. Это опять-таки знакомое тебе электронное реле на транзисторе VT1, между базой и эмиттером которого (зажимы X1 и X2) включен охранный шлейф. Этот шлейф, обозначенный на схеме волнистой линией, представляет собой медный провод диаметром 0,1...0,12 мм, например ПЭВ-1 0,1, протянутый вдоль границы охраняемого объекта. Его сопротивление небольшое — всего 1,5...2 Ом на погонный метр. Поэтому можно считать, что база транзистора соединена с эмиттером непосредственно. Следовательно, пока шлейф цел, транзистор закрыт. Но вот кто-то, может быть собака, желая попасть на охраняемую территорию, оборвала шлейф. При этом на базе транзистора оказывается отрицательное напряжение (подаваемое через резистор R1), транзистор открывается, электромагнитное реле K1 срабатывает и его контакты K1.1, замыкаясь, включают сигнализацию — электрозвонок, сирену или просто электролампу, питающуюся от электросети.

Вот, собственно, и все, что можно сказать о принципе работы такого сторожа. Сопротивление резистора R1 зависит от сопротивления шлейфа и коэффициента передачи тока $h_{21э}$ используемого транзистора. Его надо подобрать таким, чтобы без подключенного шлейфа надежно срабатывало электромагнитное реле.

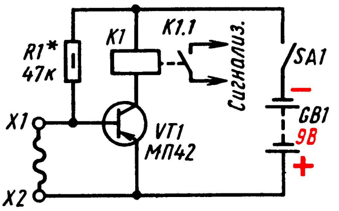


Рис. 333. Простейшее сторожевое устройство

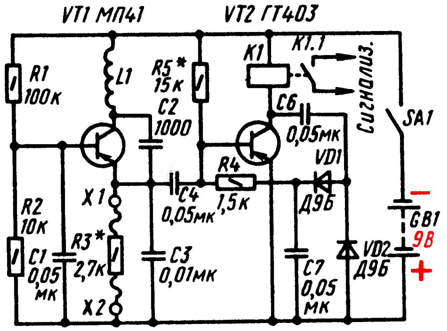


Рис. 334. Усложненный вариант сторожевого устройства

С технической точки зрения наибольший интерес представляет сторожевое устройство, схему которого ты видишь на рис. 334. Защитный шлейф этого устройства состоит из двух сложенных вместе тонких изолированных проводов (ПЭВ-1 0,1...0,12), оканчивающихся резистором R3. Другим концом он через зажимы X1 и X2 включен в эмиттерную цепь транзистора VT1. Этот транзистор совместно со сторожевым шлейфом и другими относящимися к нему деталями образуют генератор электрических колебаний частотой около 50 кГц. Эти колебания через конденсатор C4 поступают на базу транзистора VT2, усиливаются им и через конденсатор C6 подаются к выпрямителю на диодах VD1 и VD2, включенных по схеме умножения выходного напряжения. Выпрямленное напряжение в отрицательной полярности поступает через резистор R4 на базу того же транзистора VT2, резко уменьшает отрицательное напряжение смещения и, таким образом, закрывает его.

Это дежурный режим работы устройства, при котором потребляемый им ток от батареи питания не превышает 2...3 мА. Такое состояние устройства сохраняется, пока шлейф не поврежден. При обрыве одного из проводов шлейфа цепь питания транзистора VT1 будет разорвана, а генерация сорвана. При этом резко увеличится отрицательное напряжение на базе транзистора VT2, подаваемое на нее через резистор R5, транзистор откроется, реле K1 сработает и его контакты K1.1 включат систему сигнализации. То же произойдет и при замыкании проводов шлейфа. В этом случае эмиттер транзистора VT1 окажется соединенным с общим (плюсовым) проводником цепи питания непосредственно, режим его работы нарушится, из-за чего генерация сорвется и контакты K1.1 реле включат сигнализацию.

В таком сторожевом устройстве надо использовать транзисторы с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 50, причем транзистор ГТ403 можно заменить любым другим транзистором средней мощности структуры p-n-p, например ГТ402, П601. Электромагнитное реле К1 — с обмоткой сопротивлением 200...250 Ом, например РСМ-1 (паспорт Ю.171.81.43) или аналогичное другое, срабатывающее при напряжении не более 9 В. Дроссель L1 самодельный. Он состоит из 650...670 витков провода ПЭВ-1 0,1, намотанных на каркасе диаметром 10...12 мм между щечками, приклеенными к каркасу на расстоянии 20 мм одна от другой.

Резистор R5 надо подобрать таким, чтобы при срыве генерации первого каскада устройство реле четко срабатывало, а во время генерации отпускало якорь.

КОДОВЫЕ ЗАМКИ

Замки с «секретом» в виде закодированного набора цифр известны давно. Механические замки такого типа ты, конечно, видел — они продаются в хозяйственных магазинах. Кодовые замки широко используются для автоматических камер хранения вещей на железнодорожных вокзалах, в аэропортах, в подъездах домов. Вообще же кодовые замки могут быть как электромеханическими, так и электронными. Исполнительным механизмом кодового замка может служить электромагнит, подвижный сердечник которого механически связан с защелкой дверного замка.

Замок с секретом. Схема наиболее простого электромеханического кодового замка показана на рис. 335. Здесь Y1 — тяговый электромагнит, SB1 — SB6 — кнопочные переключатели, SA1 — SA5 — тумблеры. Пульт кнопок, с помощью которых можно отвести ригель дверного замка, находится с наружной, а тумблеры SA1 — SA5 кодирования замка — с внутренней стороны двери. Чтобы электромагнит сработал и таким образом позволил открыть дверь, надо знать код замка и с учетом этого шифра одновременно нажать соответствующие ему кнопки.

Набор (установку) кода замка производят переводом контактов нескольких тумблеров из положения *а* в положение *б*. На рис. 335 в положение *б* переведены тумблеры SA2 и SA5, значит, для этого случая код замка будет 2 и 5. И если ты, зная этот код, нажмешь одновременно кнопки SB2 и SB5, то цепь питания электромагнита окажется замкнутой, электромагнит сработает и его сердечник, втягиваясь в обмотку, оттянет ригель замка — дверь можно открывать.

А если кроме этих двух кнопок нажать еще какую-то кнопку? Эта третья кнопка разорвет цепь питания замка и электромагнит не сработает. А если одновременно нажать все кнопки? Если код тот же, то ничего не получится.

Трудность подбора нужного кода при попытке угадать его возрастет с увеличением числа кодирующих тумблеров и кнопок замка. Если число тумблеров и кнопок увеличить до десяти, то для расшифровки кода замка надо перебрать более тысячи вариантов. Однако и при пяти кнопках (32 варианта) код замка не так-то легко расшифровать.

А если придет человек, не знающий код замка? Для него есть кнопка SB6 «Вызов». Если ее нажать, в помещении зазвенит звонок HA1.

Но тебя как радиолюбителя должен, видимо, интересовать электронный кодовый замок. Ну что же, предлагаю для повторения два варианта такого замка.

С емкостной «памятью». Такой вариант кодового замка (рис. 336) состоит из трех оксидных конденсаторов С1 — С3 разной емкости, являющихся его «памятью», четырех диодов VD1 — VD4, транзистора VT1 с электромагнитным реле К1 в эмиттерной цепи, семи кнопок SB1 — SB7, шесть из которых входят в пульт управления замком, и тягового электромагнита Y1, сердечник которого механически связан с ригелем дверного замка. Штепсельные разъемы X1 — X6 образуют кодировочный узел замка. Кодирование осуществляется изменением порядка подключения кнопок пульта управления к штепсельным разъемам этого узла. Для питания замка используется двухполу-

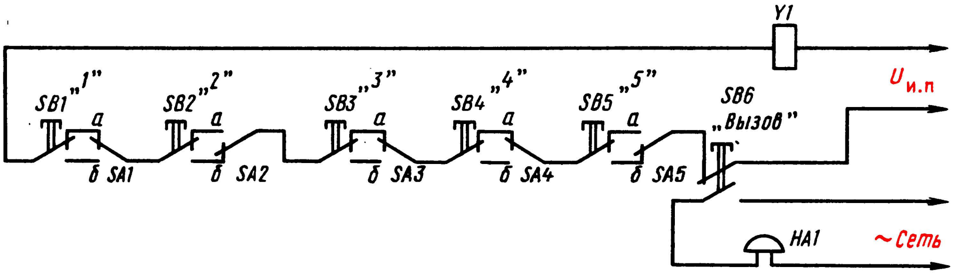


Рис. 335. Электромеханический кодовый замок

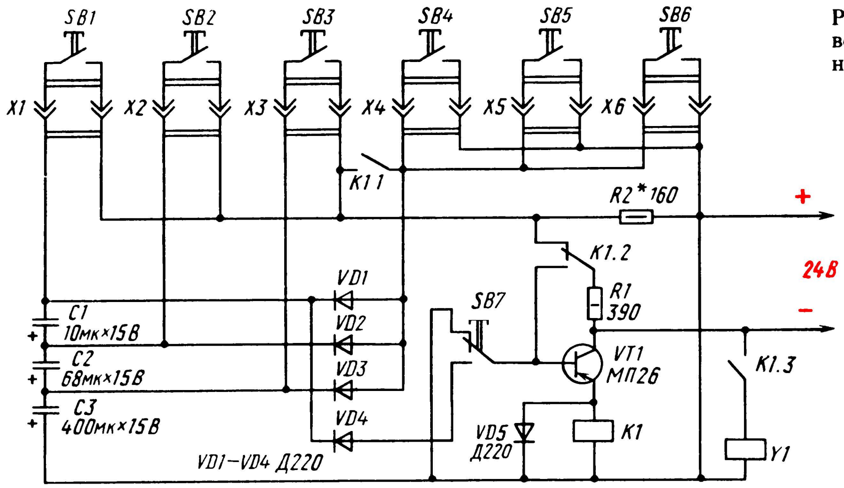


Рис. 336. Схема кодового замка с емкостной «памятью»

периодный выпрямитель с выходным напряжением 24 В.

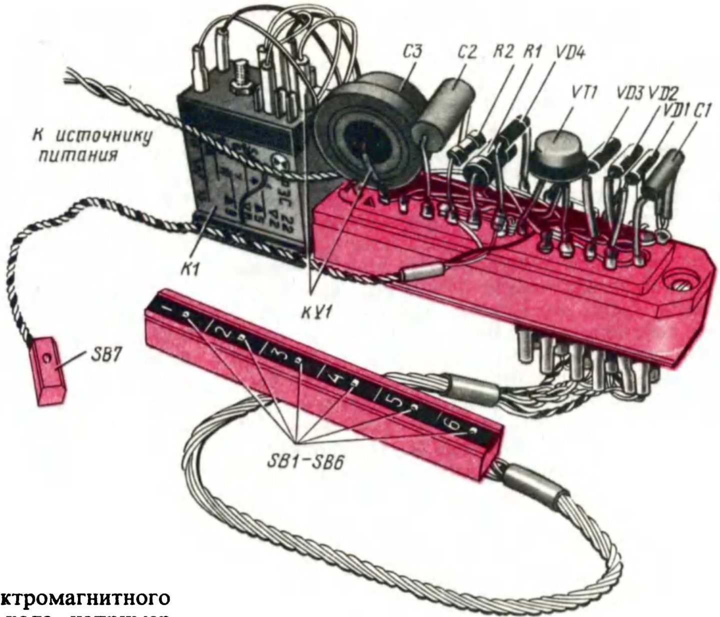
Исходное состояние элементов замка: контакты кнопок SB1 — SB6 разомкнуты, транзистор закрыт, так как его база через нормально замкнутые контакты кнопки SB7 соединена с плюсовым проводником источника питания, а его коллекторный резистор R1 и резистор R2 в общей минусовой цепи, соединенный через нормально замкнутые контакты K1.2 (реле K1), образуют делитель напряжения. В точке соединения резисторов делителя R1, R2 напряжение должно быть около 10 В.

Код замка трехзначный. Первая цифра кода соответствует номеру кнопки, подключенной к гнездовой части штепсельного разъема X1, вторая — номеру кнопки, подключенной к гнездовой части разъема X2, третья — номеру разъема X3. Показанный на схеме порядок подключения кнопок SB1 — SB3 к кодировочному узлу соответствует коду 123. Незадействованные в коде кнопки SB4 — SB6 подключены (в любом подярке) к гнездовым частям разъемов X4 — X6. Чтобы замок открыть, надо последовательно и только в порядке установленного кода нажать кропки SB1 — SB3, а затем кнопку SB7. Если ошибок нет, то сработает электромагнит и дверь можно будет открыть.

При нажатии кнопок, соответствующих установленному коду, конденсаторы C1 — C3 кодового замка заряжаются напряжением, поступающим на них с делителя R1, R2. Емкости конденсаторов и сопротивления резисторов делителя подобраны так, что при нажатии первой кнопки кода конденсатор C1 заряжается до 0,85 части этого напряжения (примерно 8,5 В), при нажатии второй кнопки кода до такого же напряжения заряжается конденсатор C2, а при нажатии третьей кнопки кода конденсатор C3 заряжается до полного напряжения, снимаемого с делителя R1, R2 (около 10 В). После правильного набора кода суммарное напряжение на последовательно соединенных конденсаторах памяти составит 2,6 части этого напряжения, т. е. примерно 27 В. Если теперь нажать кнопку SB7, то все это напряжение через диод VD4 будет подано в отрицательной полярности на базу транзистора VT1 и откроет его. Одновременно сработает реле K1, его контакты K1.3 включат питание электромагнита, контакты K1.2 переключат резистор R1 на базу транзистора (чтобы поддерживать его в открытом состоянии), а контакты K1.1, замыкаясь, через себя, диоды VD1 — VD3 и резистор R2 разрядят конденсаторы C1 — C3. При отпускании кнопки SB7 база транзистора вновь окажется соединенной с плюсовым проводником цепи питания. Транзистор при этом закроется, электромагнитное реле отпустит якорь и устройство в целом примет исходное состояние. Если конденсаторы памяти имеют небольшие токи утечки, то напряжение на них, достаточное для срабатывания реле, электромагнита и открывания двери, сохраняется не менее 3 мин. Это позволяет в случае ошибки, допущенной при наборе кода, нажать на одну из кнопок, не участвующих в коде, чтобы разрядить конденсаторы, и вновь правильно набрать код.

В момент нажатия кнопки SB7 суммарное напряжение на конденсаторах памяти обязательно должно быть больше удвоенного напряжения, снимаемого с делителя R1, R2, и больше

Рис. 337. Монтаж электронной части и кнопок кодового замка



напряжения срабатывания электромагнитного реле K1. При неполном наборе кода, например при нажатии только первой и третьей закодированных кнопок, это напряжение не превысит удвоенного напряжения делителя, что окажется недостаточным для срабатывания замка. Оно будет мало и в том случае, если закодированные кнопки нажимать не в той последовательности. А если при попытке подбора кода будет нажата хотя бы одна из незакодированных кнопок, заряженные конденсаторы тут же разрядятся через диоды VD1—VD3.

Конструкция этого варианта кодового замка показана на рис. 337. Все детали, кроме кнопок, смонтированы на гнездовой части штепсельного разъема, являющейся одновременно и кодировочной колодкой замка. Штепсельная часть этого разъема распилена поперек на части, образующие двухполюсные штепсельные вилки разъемов X1—X6.

Для замка использованы: транзистор с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 20; электромагнитное реле типа РЭС-22 (паспорт РФ4.500.163); конденсаторы С1 и С3 — К53-1, С3 — ЭТО (можно заменить конденсатором К50-6); резисторы R1 и R2 — МЛТ; кнопки — микровыключатели КМ1-1. Транзистор МП26 можно заменить аналогичным ему транзистором МП25, диоды Д220 — диодами Д219 с любым буквенным индексом. Кнопки могут быть любой конструкции, в том числе самодельными.

Электромагнит сделан из низкочастотного дросселя фильтра выпрямителя лампового радиоприемника (или телевизора). Обмотка дросселя должна иметь сопротивление постоянному току 20...25 Ом. Конструкция предельного магнитопровода дросселя (без каркаса с обмоткой) показана на рис. 338. Пакет Ш-образных пластин распилен по штриховым линиям. Его средняя часть используется как якорь 6, а боковые части и набор замыкающих пластин — в качестве магнитопровода 1 тягового электромагнита. Части магнитопровода скреплены вместе с помощью металлических накладок и за-

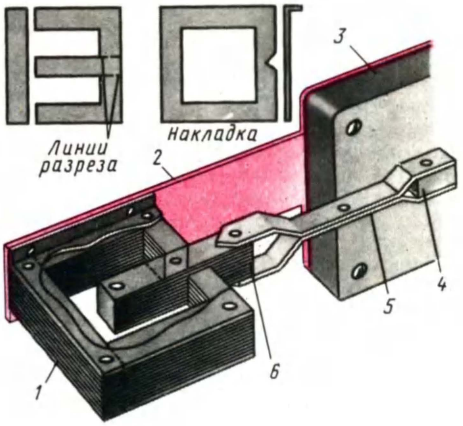


Рис. 338. Конструкция магнитопровода электромагнита кодового замка

клепок. Чтобы внутри каркаса с обмоткой, находящейся в магнитопроводе, якорь мог перемещаться без заметного трения, в его наборе на 4—5 пластин меньше, чем в наборе магнитопровода. Якорь электромагнита соединяют с ручкой ригеля 4 дверного замка 3 тягой 5 из двух склепанных вместе полос листовой стали толщиной 0,5...1 мм. Магнитопровод вместе с обмоткой крепят на стальной пластине 2 толщиной 2...2,5 мм, которую подкладывают под дверной замок и вместе с ним укрепляют на двери. Такой электромагнит при включении потребляет ток около 1 А. На такой ток должны быть рассчитаны и диоды выпрямителя, питающего этот вариант кодового замка.

Налаживание замка сводится к подбору резистора R2. Его сопротивление должно быть таково, чтобы при правильно набранном коде создающееся на нем падение напряжения заряжало конденсаторы памяти до напряжения четкого срабатывания электромагнитного реле. В то же время при нажатии только двух кнопок, соответствующих первой и третьей цифрам установленного кода, реле не должно срабатывать.

Для выпрямителя потребуется трансформатор мощностью 40...50 Вт, понижающий напряжение электроосветительной сети до 17...18 В при токе не менее 1 А. После двухполупериодного выпрямления напряжение вторичной обмотки и сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения на электронной части замка будет 24...25 В. О расчете самодельного сетевого трансформатора блока питания я рассказывал в десятой беседе.

Диоды выпрямителя, включаемые по мостовой схеме, могут быть серий КД202, КД206, Д242, Д243. Можно также использовать выпрямительный блок средней мощности КЦ402 или КЦ403 с буквенными индексами А—Е, что упростит монтаж выпрямителя. Оксидный конденсатор, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения, может быть емкостью 500...1000 мкФ, на номинальное напряжение 50 В.

В футляре электронной части, сделанном из толстой фанеры, обязательно надо предусмотреть отверстие, прикрываемое крышкой или дверцей, необходимое для доступа к кодировочной колодке при смене кода.

Кодовые кнопки могут быть любыми. Важно лишь, чтобы их контакты надежно замыкались и размыкались без заеданий. Монтировать их желательно на одной общей планке и прикрыть сверху защитным кожухом с отверстиями против нажимных кнопок.

Вообще же конструкция этого варианта кодового замка может быть иной—все зависит от имеющихся деталей, творческой смекалки конструктора и, кроме того, от того, где предполагается его устанавливать. В любом случае электронную часть замка вместе с кодировочной колодкой и выпрямителем можно смонтировать на одной общей плате подходящих размеров. Гнездовой частью кодировочной колодки могут служить ламповые панельки, а штырьковыми частями разъемов—объединенные попарно отрезки медной луженой проволоки. Общее число разъемов и кнопок может быть не шесть, а больше, что значительно усложнит попытку подбора кода.

Ты правильно поступишь, если сначала подберешь все необходимые радиодетали, сделаешь тяговый электромагнит и, если надо, трансформатор выпрямителя, смонтируешь и испытаешь электронную часть на макетной панели и только после этого приступишь к окончательной сборке кодового замка. Если подобранный трансформатор окажется массивным, то блок питания, выполненный в виде самостоятельной конструкции, целесообразно укрепить на стене возле дверного проема и соединить его двухпроводным гибким кабелем с электронной частью и электромагнитом, размещенными на внутренней стороне двери.

На цифровой микросхеме. А в этом варианте кодового замка (рис. 339) работают D-триггеры DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ТМ2, два n-p-n транзистора VT1, VT2 и тринистор VD2, управляющий тяговым электромагнитом Y1. Электромагнит может сработать и сдвинуть ригель дверного замка лишь тогда, когда откроется тринистор и через обмотку электромагнита потечет ток, выпрямленный тринистором. Но чтобы тринистор открылся, оба транзистора, соединенные между собой последовательно, должны быть в открытом состоянии, что может быть лишь в том случае, когда на базы транзисторов будут поданы одновременно напряжения высокого уровня. Во всех других случаях транзисторы будут закрыты, электромагнит обесточен и дверь открыть не удастся.

Рассмотрим действие элементов кодового замка в целом.

В исходном состоянии контакты всех кнопок и выключателя SA1 «Сброс» разомкнуты, триггер DD1.1 находится в единичном состоянии (на прямом выходе напряжение высокого уровня, на инверсном—низкого), а триггер DD1.2, наоборот, в нулевом (на прямом выходе напряжение низкого уровня), транзисторы закрыты (хотя на базе транзистора VT2 действует напряжение высокого уровня), тринистор VD2 тоже закрыт и обмотка электромагнита Y1 обесточена. Код замка трехзначный, например 123. Это значит, что первой надо нажать закодированную кнопку SB1, второй—кнопку SB2, третьей—кнопку SB3. При другом порядке или нажатии на любую из незакодированных кнопок (SB4—SB10) замок не сработает.

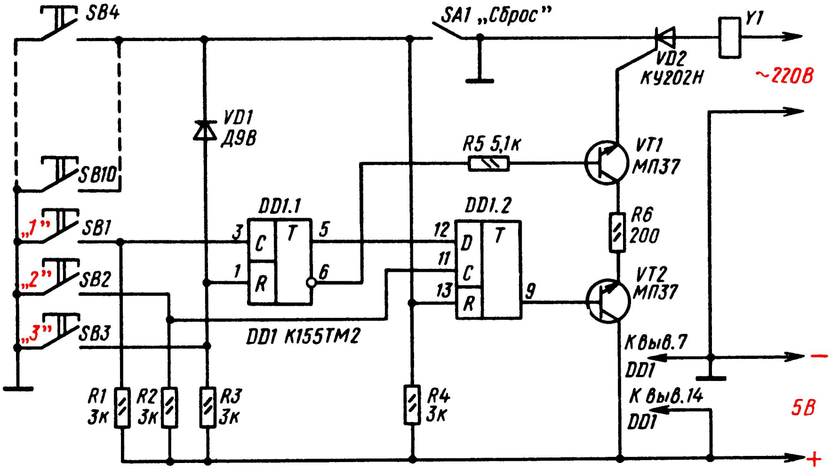


Рис. 339. Вариант кодового замка на D-триггерах

Нажатием на кнопку SB1, соответствующую первой цифре кода, триггер DD1.1 переключается в единичное состояние. При этом уровень напряжения на базе транзистора VT1 становится низким, а на входе D-триггера DD1.2 — высоким. Триггер же DD1.2 сохраняет нулевое состояние.

При нажатии на кнопку SB2 (вторая цифра кода) триггер DD1.2 переключается в единичное состояние, в результате чего на базе транзистора VT2 появляется напряжение высокого уровня. Но транзисторы не открываются, потому что на базе транзистора VT2 в это время низкое напряжение.

При нажатии на кнопку SB3 (третья цифра кода) триггер DD1.2 сохраняет единичное состояние, а триггер D1.1 переключается в первоначальное, т. е. нулевое состояние. Теперь на базах обоих транзисторов напряжение высокого уровня, вследствие чего они открываются сами и коллекторным током открывают тринистор VD4. Электромагнит при этом срабатывает и через якорь отодвигает ригель дверного замка — дверь можно открывать.

Выключатель SA1 «Сброс» представляет собой два контакта, которые в нормально разомкнутом состоянии смонтированы на двери. Когда дверь открывается, они замыкаются, на входе R триггера DD1.2 появляется напряжение низкого уровня, которое переключает этот триггер в нулевое состоние. При закрывании двери контакты SA1 вновь размыкаются и электронная часть кодового замка оказывается в исходном, ждущем режиме работы.

А если ошибочно, или не зная кода будет нажата незакодированная кнопка? Попробуй разобраться, как на это среагирует замок. Предположим, после закодированной кнопки SB1 будет нажата любая из незакодированных (SB4—SB10). При этом напряжение низкого уровня будет подано через диод VD1 на вход R триггера DD1.1 и он переключится в исходное (нулевое) состояние. Если же и вторая цифра кода будет набрана правильно, а за ней неправильная, то напряжение низкого уровня будет подано непосредственно на вход R второго триггера и он вернется в нулевое состояние. Как видишь, открыть дверь удастся только при правильном последовательном нажатии закодированных кнопок замка.

Для смены кода замка надо лишь изменить порядок подключения к кнопкам проводников, идущих к ним от входов триггеров и соответствующих им резисторов R1—R3.

Питать электронную часть замка можно от любого двухполупериодного выпрямителя с выходным напряжением 5 В. Тяговый электромагнит должен быть рассчитан на работу при сетевом напряжении 127 В, т. е почти вдвое меньшем, чем 220 В. Объясняется это тем, что через тринистор, работающий в открытом состоянии как диод, и обмотку электромагнита ток протекает только во время одного полупериода сетевого напряжения. Подойдет такой же электромагнит, как в кодовом замке первого варианта, если последовательно с его обмоткой включить резистор, ограничивающий ток в ней до 1 А.

Транзисторы VT1 и VT2 могут быть любыми из серий МП35—МП37, КТ315, тринистор VD2 — серии КУ201 или КУ202 с буквенными индексами Л—Н.

Пульт кнопок (SB1—SB10) любой конструкции размещай с наружной стороны двери, а электронную часть замка, смонтированную на плате небольших размеров, на внутренней стороне против пульта кнопок управления замком.

Контактные пластинки выключателя SA1 вырежь из тонкой листовой бронзы. Чтобы они лучше пружинили, отгортуй их ударами молотка на наковальне.

При подключении устройства к сети необходимо проследить, чтобы нулевой ее провод соединялся с общим «заземленным» проводником цепи питания электронной части кодового замка.

Где наиболее целесообразно установить кодовый замок? Лучше всего, пожалуй, на двери комнаты, где занимается технический кружок. Это, во-первых, интересно и, во-вторых, удобно — каждый кружковец, зная код на день занятия, входит в комнату, не отвлекая от дела других.

АВТОМАТЫ СВЕТОВЫХ ЭФФЕКТОВ

С подобными устройствами, создающими световые эффекты, тебе уже приходилось иметь дело. Когда? Например, в девятой беседе, когда ты экспериментировал с генератором световых импульсов (рис. 162, а) или в пятнадцатой, когда знакомился с практикой использования мультивибратора для имитации мигания глаз «Кота-лакомки» (рис. 256). Да, это тоже автоматы световых эффектов.

Такие или аналогичные им устройства радиолюбители широко используют для иллюминации различных аттракционов, декоративных масок, для украшения елок на новогодних праздниках. Основой таких автоматов часто служат триггеры цифровых микросхем, управляемые импульсами тактовых генераторов. Переключаясь из одного логического состояния

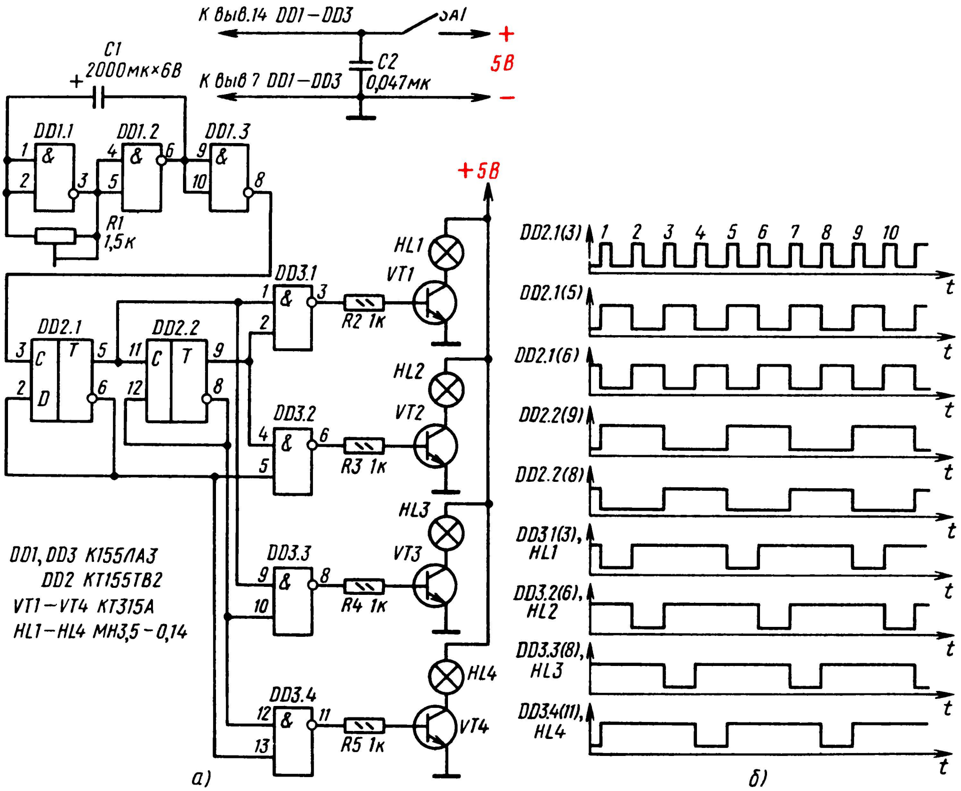

К выв.14 DD1—DD3
SA1
+
5В
−
C1
2000мк×6В
К выв 7 DD1—DD3
C2
0,047мк
DD1.1
DD1.2
DD1.3
R1
1,5к
+5В
HL1
VT1
DD3.1
R2 1к
DD2.1
DD2.2
C
T
D
HL2
VT2
DD3.2
R3 1к
HL3
VT3
DD3.3
R4 1к
HL4
VT4
DD3.4
R5 1к
DD1, DD3 К155ЛА3
DD2 КТ155ТВ2
VT1—VT4 КТ315А
HL1—HL4 МН3,5-0,14
DD2.1(3)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
DD2.1(5)
DD2.1(6)
DD2.2(9)
DD2.2(8)
DD3.1(3), HL1
DD3.2(6), HL2
DD3.3(8), HL3
DD3.4(11), HL4
t
а)
б)

Рис. 340. Автомат, создающий эффект «бегущая тень», и графики, поясняющие принцип его действия

в другое, триггеры выходными сигналами управляют цепями питания нескольких ламп накаливания (или гирлянд), которые и создают задуманные световые эффекты.

Предлагаю для опытной проверки несложный автомат, создающий эффект «бегущая тень» (рис. 340, *а*). Он состоит из генератора импульсов на элементах DD1.1 и DD1.2, счетных D-триггеров DD2.1 и DD2.2, логических элементов 2И-НЕ микросхемы DD3 и транзисторов VT1—VT4 с лампами накаливания HL1—HL4 в коллекторных цепях. Подстроечным (или переменным) резистором R1 можно плавно изменять частоту тактового генератора в пределах 1...2 Гц. D-триггеры микросхемы К155ТМ2 (DD2), соединенные между собой последовательно, образуют двоичный счетчик импульсов, поступающих на его вход от генератора. В итоге на выходе первого триггера частота импульсов оказывается меньшей вдвое, а на выходе второго вчетверо. Элементы 2И-НЕ микросхемы DD3, работающие как дешифраторы логических состояний триггеров счетчика, формируют сигналы, включающие в определенном порядке лампы накаливания. Лампа HL1, например, загорается лишь тогда, когда на выходе элемента DD3.1 (вывод 3) появляется напряжение высокого уровня, которое открывает транзистор VT1. В таком состоянии этот логический элемент может оказаться только при низком уровне напряжения на одном из его входов, т. е. в те промежутки времени, когда один из триггеров находится в нулевом состоянии. Когда же оба триггера находятся в единичном состоянии, на выходе элемента DD3.1 будет напряжение низкого уровня, транзистор VT1 окажется закрытым, а лампа HL1 — погашенной.

Работу автомата в целом проанализируем по графикам, приведенным на рис. 340, *б*. Считаем, что в начальный момент после включения питания D-триггеры счетчика оказались в нулевом состоянии. Следовательно, загорались лампы HL1—HL3, потому что в это время на выходных выводах 3, 6 и 8 элементов микросхемы DD3 появились напряжения высокого уровня, которые открыли транзисторы VT1—VT3.

Первый импульс генератора своим фронтом переключил триггер DD2.1 в единичное состояние. Сразу же переключился в аналогичное состояние и триггер DD2.2. Поэтому лампа HL1 погасла (на выводе 3 элемента DD3.1 появился низкий уровень напряжения) и загорелась лампа HL4 (на выводе 11 элемента DD3.4 — высокий уровень напряжения). Второй импульс переключил триггер DD2.1 в нулевое состояние (триггер DD2.2 остался в единичном). Теперь гаснет лампа HL2, а остальные горят. Третий импульс переключает первый триггер в единичное состояние, а второй — в нулевое. Значит, гаснет лампа HL3, а остальные горят. При четвертом импульсе оба триггера счетчика оказываются в нулевом состоянии и гаснет лампа HL4.

Начиная с пятого (затем с девятого, тринадцатого и т. д.) импульса, появляющегося на входе двоичного счетчика, описанный цикл работы автомата повторяется. И если лампы расположены гирляндой, гаснущие лампы будут создавать эффект «бегущей тени».

С таким автоматом можно получить и эффект «бегущего огня», если между выходами элементов DD3.1—DD3.4 и соответствующими им ограничительными резисторами R2—R5 включить инверторами элементы еще одной микросхемы К155ЛА3 (подобно элементу DD1.3). Тогда при каждом цикле работы автомата станет вспыхивать лишь одна лампа и свет будет «бежать» по цепочке ламп. Скорость перемещения света тем больше, чем выше частота тактового генератора.

Для иллюминации новогодней елки даже средних размеров желателен автомат, коммутирующий несколько гирлянд, к тому же более мощных, чем составленные из миниатюрных ламп накаливания. Схему возможного варианта такого автомата световых эффектов можно построить по схеме, показанной на рис. 341. Здесь HL1 и HL2 символизируют две гирлянды ламп, рассчитанные на работу от электроосветительной сети напряжением 220 В. Они могут быть готовыми (продают в магазинах культтоваров) или самодельными мощностью до 500 Вт каждая.

Автомат образуют два генератора импульсного напряжения, узел совпадения сигналов генераторов, тринисторные выключатели и блок питания. Блок питания гирлянд представляет собой бестрансформаторный двухполупериодный выпрямитель на мощных диодах, рассчитанный на ток, потребляемый гирляндами, до 3 А.

Автомат работает в двух режимах: как периодический переключатель гирлянд и переключатель с одновременным прерыванием («миганием») свечения гирлянд.

Тактовый генератор, задающий частоту переключения гирлянд, собран по схеме симметричного мультивибратора на логических элементах DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ЛА3 (DD1). Длительность периода генерируемых им колебаний около 4 с. Частоту следования импульсов можно изменять в небольших пределах переменным резистором R3. Сигналы генератора, снимаемые с его выходов (выводы 3 и 6 элементов), поступают на входы узла совпадения, образованного элементами DD2.1 и DD2.2 микросхемы К155ЛИ5 (DD2).

Что представляет собой микросхема К155ЛИ5? В ней два логических элемента 2И

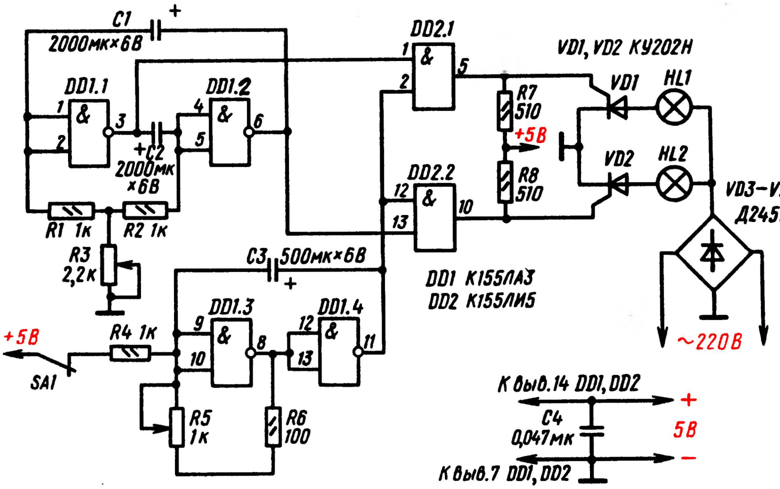


Рис. 341. Коммутатор елочных гирлянд

с открытым коллекторным выходом, т. е. без нагрузочных элементов в коллекторных цепях выходных транзисторов. В описываемом автомате функцию их нагрузок выполняют резисторы: для элемента DD2.1 — резистор R7, для элемента DD2.2 — резистор R8. Логика же действия элемента 2И такова: напряжение высокого уровня на его выходе появляется лишь тогда, когда сигналы такого же уровня будут поданы на оба его входа.

При работе автомата в первом режиме второй его генератор, собранный на элементах DD1.3 и DD1.4, не работает (контакты выключателя замкнуты). В это время на выводе 11 элемента DD1.4, а значит, и на выводе 2 элемента DD2.1 и выводе 12 элемента DD2.2 узла совпадения действует напряжение высокого уровня. В это же время на вторые входные выводы элементов узла совпадения поочередно поступают импульсы от первого генератора и изменяют их электрическое состояние. Когда импульс генератора оказывается на выводе 1 элемента DD2.1 (в это время на выводе 13 элемента DD2.2 напряжение низкого уровня), на его выходном выводе 5 появляется напряжение высокого уровня, которое подается на управляющий электрод тринистора VD1 и открывает его — загорается гирлянда HL1. При следующем периоде колебаний тактового генератора гирлянда HL1 гаснет, а гирлянда HL2 горит.

При размыкании контактов выключателя SA1 начинает работать и второй генератор. Генерируемые им импульсы с частотой следования около 1 Гц поступают на вторые входы элементов узла совпадения, в результате чего с такой же частотой начинает мигать включенная в это время гирлянда. Частоту мигания ламп гирлянд можно регулировать переменным резистором R5 второго генератора автомата.

Тринисторы могут быть серии КУ202 с буквенными индексами К, Л, М, Н (обратное напряжение не менее 300 В). В крайнем случае — КУ201К или КУ201Л, но тогда максимальный ток, потребляемый каждой из гирлянд, не должен превышать 2 А. В выпрямителе могут работать диоды серий Д245, Д246 с буквенными индексами А, Б, КД202И, а также выпрямительные блоки КЦ409В, КЦ409Г.

Для питания микросхем желательно использовать стабилизированный источник с выходным напряжением 5 В.

Для елочных гирлянд можно использовать миниатюрные лампы накаливания КМ12-90, МН13,5-0,16, МН26-0,12, соединяя их последовательно. В гирлянде, рассчитанной на работу от сети напряжением 220 В, должно быть 18—20 ламп КМ12-90, 13—15 ламп МН13,5-0,16 или 8—10 ламп МН26-0,12. Мощность первой из них будет около 20 Вт, второй — 35, третьей — 25 Вт, что значительно меньше мощности, на которую рассчитан автомат. Следовательно, в анодную цепь каждого из его тринистора можно включать не одну, а несколько таких гирлянд, соединив их между собой параллельно.

Если суммарная мощность гирлянд превысит 500 Вт, тринисторы придется установить на теплоотводящие радиаторы.

Считаю необходимым напомнить, что этот автомат световых эффектов имеет непосредственный контакт с электросетью. Поэтому при испытании и установке его на елке будь осторожным и внимательным. Особенно тщательно должны быть изолированы все соединения в гирляндах и проводниках, подключающих автомат к электроосветительной сети.

ИГРОВЫЕ АВТОМАТЫ

Конструирование разнообразных электронных автоматов для игр, технических развлечений пользуется у радиолюбителей особой популярностью. Дело это не только интересное, но и чрезвычайно полезное, потому что расширяет круг познания радиоэлектроники. Игровые автоматы полезны и всем тем, кто ими пользуется, так как развивают реакцию, логическое мышление, в какой-то степени приобщают к радиотехнике, электронике.

Расскажу о трех разных по сложности игровых автоматах, которые могут «прижиться» в твоем доме, стать подарком другу, пополнить игротеку твоей школы.

Схему первого автомата ты видишь на рис. 342. Он, по-существу, состоит из двух игровых автоматов, пользоваться которыми можно как раздельно, так и совместно. Первый из них с условным названием «Красный или зеленый?» образуют генератор импульсов на логических элементах DD1.1 и DD1.2 микросхемы К155ЛА3, JK-триггер К155ТВ1 и транзисторы VT1 и VT2 с миниатюрными лампами накаливания HL1 и HL2 в коллекторных цепях. Баллон одной из ламп покрыт светлым лаком красного цвета, баллон второй — зеленого цвета. Кнопка SB1 — пульт управления игрой.

Работа этой части игрового автомата и задача играющих заключается в следующем. При нажатии на кнопку SB1, контакты которой блокируют конденсатор C1, генератор на элементах DD1.1, DD1.2 возбуждается. Частота следования импульсов, генерируемых им, определяется в основном емкостью конденсатора C1. Импульсы с выхода генератора поступают на вход C (вывод 12) триггера DD2 и своими спадами изменяют его электрическое состояние на противоположное. Триггер работает в режиме счета входных импульсов, поэтому частота изменения уровней напряжения на его прямом (вывод 6) и инверсном (вывод 8) выходах вдвое меньше частоты генератора.

В промежутки времени, когда на прямом выходе триггера появляется напряжение высокого уровня, то открывается транзистор VT1 и загорается лампа HL1. Транзистор VT2 в это время закрыт, поскольку на его базе низкий уровень напряжения. При напряжении высокого уровня на инверсном выходе триггера открывается транзистор VT2 и загорается лампа HL2 в его коллекторной цепи. Транзистор же VT1 в это время закрывается, и лампа HL1 гаснет. И так при каждом периоде импульсов генератора.

При указанной на схеме емкости конденсатора C1 частота открывания транзисторов равна 12...14 Гц. Поэтому нити накала обеих ламп, как бы мигая, светятся тускло. Но стоит отпустить кнопку SB1 и тем самым замкнуть накоротко конденсатор C1, как генерация импульсов прекратится. При этом одна из ламп накаливания совсем гаснет, а другая, наоборот, светится ярче. А вот какая из них — красная или зеленая — будет гореть после отпускания кнопки, заранее сказать нельзя, ведь это зависит от логического состояния, в котором окажется триггер в момент срыва генерации.

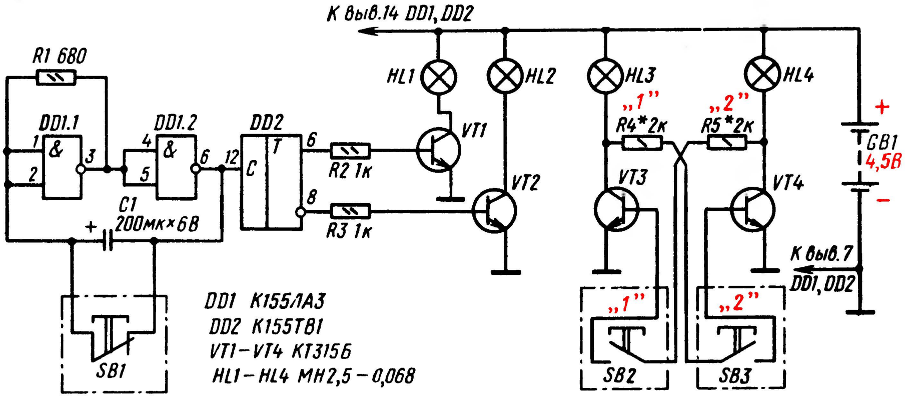


Рис. 342. Игровой автомат «Кто быстрее»

Можно только гадать, что, собственно, и должны делать играющие перед каждым нажатием на кнопку управления генератором.

Победителем считается тот, кто большее число раз угадает цвета горящих ламп после остановки генератора автомата.

Во вторую часть этого электронного устройства входят транзисторы VT3, VT4 с лампами HL3 и HL4 в коллекторных цепях и кнопочные выключатели SB2 и SB3. Они образуют простейший игровой автомат «Кто быстрее», позволяющий сравнивать скорость реакции двух играющих.

Стартом соревнования может служить заранее обусловленный короткий звуковой или световой сигнал, который подает судья игры. Услышав или увидев эту команду, каждый из играющих старается возможно быстрее нажать кнопку на своем пульте и зажечь соответствующую лампу. Выигрывает тот, кто сделает это первым. При попытке нажать на свою кнопку второго играющего после того, как это сделал первый, его лампа не загорается.

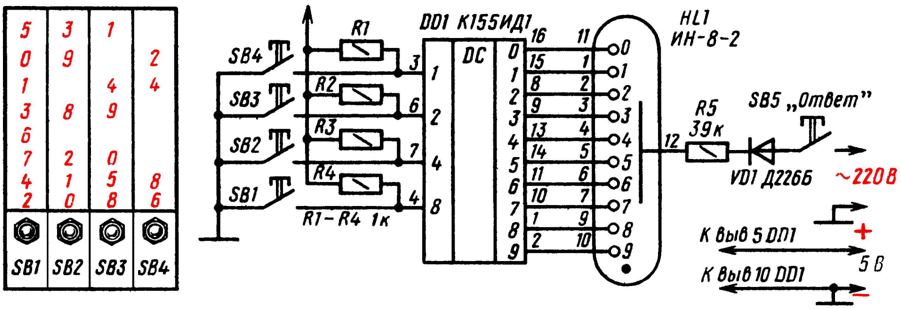
Как работает эта часть автомата? Предположим, что первой нажата кнопка SB2 в руках играющего под номером «1». При этом на базу транзистора VT3 через замкнутые контакты этой кнопки, резистор R5 и нить накала лампы HL4 оказалось поданным положительное напряжение батареи питания GB1, которое открыло транзистор VT3, в результате чего загорелась лампа HL3 «1». Может ли после этого второй играющий нажать на своем пульте кнопку SB3? В принципе может, но соответствующая ему лампа HL4 не загорится. И вот почему. Напряжение на коллекторе открытого транзистора, в данном случае транзистора VT3, близко к нулю. И если в это время нажать кнопку SB3, этого напряжения окажется недостаточным для открывания транзистора VT4 и, конечно, лампа HL4 в его коллекторной цепи не загорится.

При совместной работе с первой частью автомата стартовыми сигналами служат цвета горящих ламп HL1 и HL2. Ведущий игру называет цвет лампы, соответствующий старту соревнования, нажимает на кнопку SB1 и через несколько секунд отпускает ее. В этом случае условие игры усложняется, потому что требуется скорость реакции на сигнал только обусловленного цвета. Ели кто-то из играющих нажмет свою кнопку при сигнале иного цвета, ему начисляются штрафные очки.

Для питания автомата можно использовать выпрямитель с выходным напряжением 5 В, батарею 3336 или три элемента 373, соединив их последовательно. Сигнальные лампы HL1 — HL4 — МН2,5-0,068. Можно, конечно, использовать лампы МН2,5-0,15, МН2,5-0,29 или МН3,5-0,14, но тогда транзисторы должны быть средней или большой мощности, например серий КТ602, КТ815.

Следующий игровой автомат — «Электронный отгадчик». На его лицевой панели наклеена таблица с четырьмя колонками цифр (рис. 343, а). Под колонками находятся относящиеся к ним кнопки SB1—SB4. Играющим предлагается задумать любую цифру от 0 до 9, посмотреть, в каких колонках таблицы она встречается, затем нажать на соответствующие им кнопки и еще на кнопку ответа SB5 (рис. 343, *б*). При этом в индикаторе автомата появляется задуманная играющим цифра.

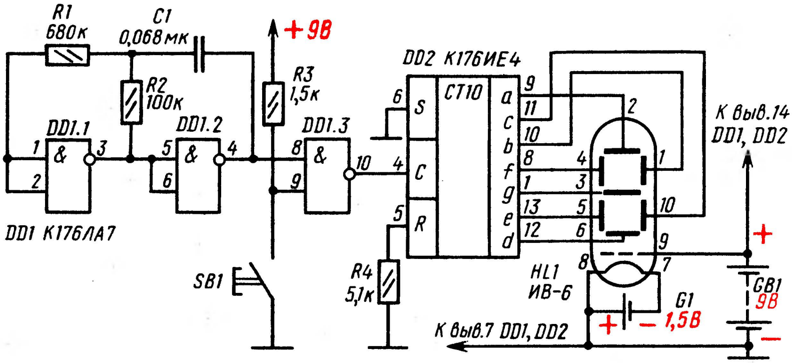
Основой автомата служит дешифратор К155ИД1 (DD1) с цифровым индикатором ИН-8-2 (HL1). Работают они так же, как аналогичные им узлы одноразрядных счетчиков цифрового частотомера (см. предыдущую беседу). Но в игровом автомате функцию двоичного счетчика импульсов имитируют контакты кно-



а) б)

Рис. 343. Игровой автомат «Электронный отгадчик»

Рис. 344. Игровой автомат «Угадай число»



пок SB1—SB4. Замыкая их, играющий сам, не подозревая того, подает на входы дешифратора сигналы двоичного кода, соответствующего задуманной цифре. Дешифратор преобразует его в код десятичный, который и высвечивает цифровой индикатор HL1.

В чем «секрет» отгадывающего автомата? В порядке подачи на входы дешифратора напряжений низкого уровня кнопками SB1—SB4. Сущность этого заключается в том, что любое привычное нам десятичное число может быть представлено в двоичной форме — в виде суммы степеней числа 2. Например: число $9=2^3+2^0$; число $7=2^2+2^1+2^0$; число $5=2^2+2^0$. В отгадывающем автомате кнопке SB1 соответствует число 8 (т. е. 2^3), кнопке SB2 — число 4 (2^2), кнопке SB3 — 2 (т. е. 2^1), кнопке SB4 — 1 (т. е. 2^0). Таким образом, чтобы зажечь цифру 9, напряжения низкого уровня надо подать на входы 4 (вывод 7) и 2 (вывод 6) дешифратора, что достигается одновременным замыканием контактов кнопок SB2 и SB3. Цифра 7 зажигается при нажатии на одну кнопку SB1, а цифра 5 — на кнопки SB1 и SB3.

Дешифратор автомата питается от любого источника постоянного тока напряжением 4,5...5 В, а анодная цепь цифрового индикатора — от электроосветительной сети через однополупериодный выпрямитель (диод VD1) и ограничительный резистор R5. Индикатор может быть любым другим из серии ИН, например ИН-12, ИН-14, но учти: у них цоколевка иная, чем у индикатора ИН-8-2.

Третий игровой автомат с условным названием «Угадай число» (рис. 344) представляет собой одноразрядный двоично-десятичный счетчик импульсов на микросхеме К176ИЕ4, совмещающей в себе десятичный счетчик с дешифратором для вывода информации на низковольтный семисегментный индикатор (в серии К155 подобной микросхемы нет). Он считает импульсы, поступающие на вход C (вывод 4) микросхемы DD2 от генератора, собранного на элементах DD1.1, DD1.2 микросхемы К176ЛА7 (она подобна знакомой тебе микросхеме К155ЛА3). Элемент DD1.3 этой микросхемы, стоящий между выходом генератора и входом счетчика, выполняет функцию электронного клапана, управляемого кнопочным выключателем SB1. Пока контакты выключателя разомкнуты, на входном выводе 9 элемента DD1.3 действует напряжение высокого уровня и импульсы генератора беспрепятственно проходят к счетчику. При нажатии на кнопку SB1 на этом выводе будет напряжение низкого уровня, которое закроет клапан и тем самым перекроет путь импульсам к счетчику. Индикатор при этом высветит случайную цифру, угадать которую и предлагается участникам игры.

Порядок игры таков. Ведущий просит играющих назвать ожидаемые ими цифры от 0 до 9, после чего нажимает на кнопку SB1. Выигрывает тот, кто при равном числе попыток, например десяти, угадает больше цифр, высвечиваемых индикатором после остановки счетчика.

Микросхемы серии К176, используемые в этом игровом автомате, рассчитаны на напряжение источника питания 9 В. Поэтому питать их и индикатор можно от двух соединенных последовательно батарей 3336. А для питания нити накала индикатора потребуется один элемент 316 или 332.

* * *

Те приборы и устройства, о которых я рассказал тебе в этой беседе, всего лишь небольшая часть примеров обширнейшей области техники — автоматики. И разговор о ней, ее принципах и элементах не окончен — он будет продолжен в следующей беседе, посвященной телеуправлению моделями.

БЕСЕДА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ

Этот вид радиолюбительского творчества имеет непосредственное отношение к области радиоэлектроники, носящей название «телемеханика». Первая часть этого слова — греческое «теле» означает по-русски «далеко». Значит, «телемеханика» — управление механизмами на расстоянии. Наиболее знакомая тебе телемеханическая система — электрический звонок. Нажимая кнопку, являющуюся своеобразным датчиком, ты на расстоянии управляешь электрическим звонком. А как работает автоматическая телефонная станция — АТС? Набирая диском или кнопками аппарата цифры нужного номера, ты посылаешь по проводам на станцию серии электрических импульсов, с помощью которых аппаратура АТС соединяет тебя с телефонным аппаратом собеседника. Здесь автоматика сочетается с телемеханикой, а каналом связи служат провода. Надеюсь, ты видел, как работает машинист подъемного крана. Перед ним — пульт управления с кнопками и приборами. Нажимая кнопки, он включает электродвигатели, которые приводят в действие различные механизмы. И в этом телемеханическом сооружении каналом связи служат провода.

А что было каналом связи в фотореле, знакомом тебе по предыдущей беседе? Совершенно верно: луч света, направленный на фотоэлемент или фоторезистор автомата.

Но каналом связи может быть звук, ультразвук. Да, юный друг, с помощью звука тоже можно управлять механизмами, но на небольшом расстоянии. На большом расстоянии лучше всего действует радиоканал. С помощью радиоволн можно управлять, например, трактором, автомобилем, самолетом. Космические корабли без космонавтов на борту управляются только по радио. Эту область радиоэлектроники называют радиотелемеханикой. Сущность ее заключается в том, что передатчик командного пункта посылает сигналы, содержащие зашифрованную информацию, которые с помощью приемника и реле, имеющихся на управляемом объекте, расшифровываются и автоматически включают и выключают различные его механизмы.

Предлагаю тебе ознакомиться с тремя системами телеуправления моделями: светом, звуком, по радио и, конечно проверить их в работе. Первые две системы доступны каждому радиолюбителю, *было бы лишь желание. А вот третьей системой можешь воспользоваться в том случае, если тебе исполнилось 16 лет и ты можешь получить разрешение Государственной инспекции электросвязи на эксплуатацию любительского УКВ передатчика или если ты занимаешься в радиокружке, которым руководит старший товарищ, на кого может быть оформлено такое разрешение.*

Начну с первой системы — управления моделью светом.

МОДЕЛЬ ИДЕТ НА СВЕТ

Вспомни фотореле. Его исполнительным механизмом было электромагнитное реле (см. рис. 328). А если вместо реле в коллекторную цепь транзистора второго каскада включить электродвигатель, установленный на какой-либо модели, например автомобиля? Тогда при подаче светового сигнала модель будет двигаться вперед, а когда такого сигнала нет — стоять на месте. Модель станет светоуправляемой.

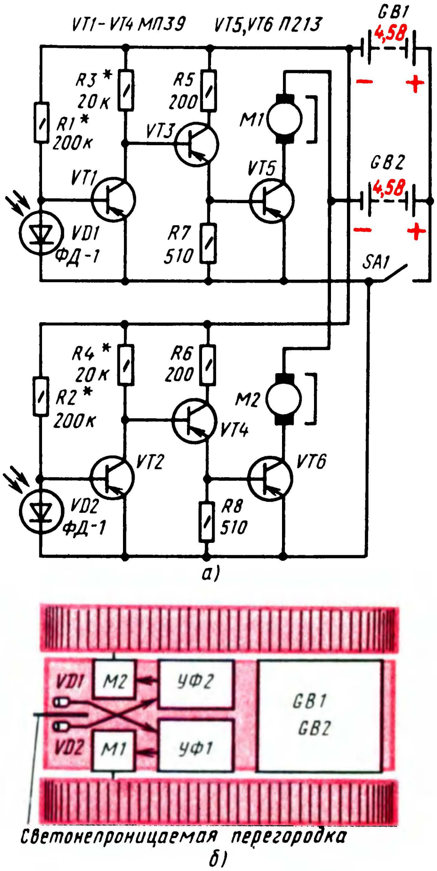


Рис. 345. Принципиальная схема (*а*) и схема размещения узлов аппаратуры светоуправления на модели танка (*б*)

В магазинах культтоваров есть модели танков с дистанционным управлением. Внутри танка — два микроэлектродвигателя — раздельно на каждую гусеницу и питающая их батарея. Управление происходит путем нажатия кнопок на пульте, соединенном с моделью проводами, включающими электродвигатели. Вот такую модель я и предлагаю тебе сделать светоуправляемой.

Принципиальная схема электронной «начинки» такого танка и схема размещения в нем узлов телеуправления показана на рис. 345. Приемная и исполнительная части аппаратуры, устанавливаемые на модели, состоят из двух фотореле с двухкаскадными усилителями фототока. Связь между транзисторами непосредственная. В коллекторные цепи выходных транзисторов обоих блоков включены электродвигатели M1 и M2, являющиеся исполнительными механизмами модели. Роль передатчика команд такой системы телеуправления выполняет круглый электрический фонарь с фокусирующимся лучом света.

Для питания аппаратуры используются две батареи 3336. Батарея GB1 питает фотореле и транзисторы VT1 — VT4 первых каскадов усилителей, батарея GB2 — транзисторы выходных транзистров VT5 и VT6 с электродвигателями в их коллекторных цепях. Выключатель SA1 — общий для цепей питания.

Каждый фотодиод и относящийся к нему усилитель фототока, обозначенные на рис. 345, *б* сокращенно УФ1 и УФ2, управляют только своим электродвигателем. А именно: фотодиод VD1 — электродвигателем M1, фотодиод VD2 — электродвигателем M2. Между фотодиодами установлена светонепроницаемая перегородка, позволяющая освещать фотодиоды раздельно.

Пока фотодиоды не освещены, выходные транзисторы VT5 и VT6 закрыты, электродвигатели обесточены и модель, следовательно, стоит на месте. При освещении обоих фотодиодов, когда свет падает на модель спереди, транзисторы VT5 и VT6 открываются, начинают работать оба электродвигателя и модель движется вперед на свет. Если теперь источник света сместить в сторону, чтобы освещался лишь один из фотодиодов, работать будет один электродвигатель и модель, остановившись, станет поворачиваться в сторону света. Чтобы повернуть ее в другую сторону, надо в ту же сторону переместить источник света.

Транзисторы каждого блока фотореле целесообразно смонтировать на отдельных платах — для удобства размещения в корпусе модели. Транзисторы VT1 — VT4 могут быть любыми маломощными низкочастотными или высокочастотными, а VT5 и VT6 — любыми р-п-р транзисторами средней или большой мощности. Чем больше их коэффициент $h_{21э}$, тем чувствительнее будет фотореле. Фотодиоды — ФД-1 или ФД-2. Роль фотодиода может выполнять один из р-п переходов маломощного транзистора структуры р-п-р со спиленной «шляпкой» корпуса (как у самодельного фототранзистора). Вывод базы фотодиода соединяют с плюсовым проводником цепи питания, а вывод эмиттера или коллектора (определи опытным путем, добиваясь наилучшей чувствительности) — с базой транзистора фотореле.

Блоки фотореле налаживай раздельно. Вначале фотодиод VD1 (в другом блоке — VD2) замкни накоротко проволочной перемычкой, чтобы закрыть транзистор VT3, а резистор R3 замени двумя соединенными последовательно постоянным резистором на 15...20 и переменным на 30...50 кОм. Плавно уменьшая общее сопротивление этой цепочки резисторов, улови момент, когда дальнейшее уменьшение их сопротивления перестает сказываться на частоте вращения ротора электродвигателя. Номинал резистора R3 должен быть примерно на 10% больше сопротивления, при котором электродвигатель только-только начинает работать.

Точно так же налаживай другой блок фотореле светоуправляемой модели.

ДЕШИФРАТОР

Приемник светоуправляемой модели не обладает селективными, т. е. избирательными свойствами. Он реагирует только на один командный сигнал: свет! Принял этот сигнал — модель движется, нет его — модель стоит на месте.

Иное дело приемники звуко- и радиоуправляемых моделей, о которых пойдет разговор в этой беседе. Они должны реагировать на несколько разных по частоте сигналов и четко различать их. Эту функцию в дешифраторах приемников будут выполнять селективные электронные реле.

Что представляют собой селективные электронные реле, которые я буду называть сокращенно СЭР? Как они работают?

Рассмотри внимательно схему, показанную на рис. 346. Она должна напомнить тебе электронное реле, знакомое по приборам-автоматам. Селективное электронное реле, подобно приемнику с фиксированной настройкой, выделяет сигнал только той частоты, на которую он настроен.

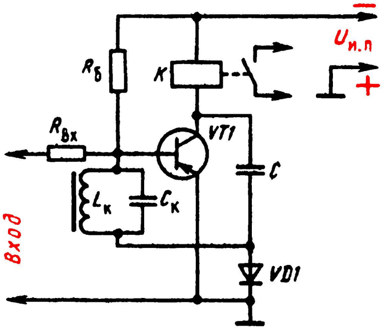


Рис. 346. Селективное электронное реле

Избирательные свойства СЭР определяются входным резистором $R_{вх}$ и колебательным контуром $L_кC_к$, настроенным на сигнал одной из исполнительных команд. Эти элементы СЭР, взятые вместе, напоминают перевернутую букву Г, где резистор $R_{вх}$ — поперечная черточка, а контур $L_кC_к$ — вертикальная часть буквы. Поэтому эту группу деталей называют обычно Г-образным RCL-фильтром.

Контур $L_кC_к$, как и любой колебательный контур, на всех частотах, кроме резонансной, на которую он настроен, представляет собой малое сопротивление. Для колебаний резонансной частоты его сопротивление велико. Поэтому если частота командного сигнала на входе Г-образного фильтра не равна резонансной частоте контура $L_кC_к$, то на выходе этого фильтра, являющемся входом транзистора VT1 (нижняя точка контура через диод VD1 соединена с эмиттером транзистора), напряжение практически отсутствует. В этом случае все напряжение командного сигнала падает на резисторе $R_{вх}$. В это время коллекторный ток транзистора мал, так как на базу через резистор $R_б$ подается малое напряжение смещения и транзистор почти закрыт. Когда же частота командного сигнала становится равной резонансной частоте контура $L_кC_к$, на нем создается сравнительно большое переменное напряжение звуковой частоты, которое практически без потерь подается на базу транзистора. Усиленное транзистором, оно выполняется диодом VD1 и через катушку $L_к$ подается на его базу в отрицательной полярности. При этом транзистор открывается, его коллекторный ток резко возрастает, отчего реле К срабатывает, а его контакты замыкают цепь питания исполнительного механизма.

Число СЭР дешифратора приемника определяется числом команд, на которое рассчитаны исполнительные механизмы. Собственные частоты контуров, соответствующие частотам командных сигналов, подбирают индуктивностями их катушек и емкостями конденсаторов во время настройки приемника.

Перехожу к описанию приемника звукоуправляемой модели.

МОДЕЛЬ, УПРАВЛЯЕМАЯ ЗВУКОМ

Не удивляйся: передатчиком, сигналы которого управляют этой моделью, может быть детская дудочка (рис. 347). Такая игрушка, как ты знаешь, имеет отверстия. Закрывая пальцами одни отверстия и открывая другие, дудочкой можно создать звуки разных частот. Звук одной частоты — команда, другой частоты — вторая команда, третьей частоты — третья команда. Передатчиком могут быть и свистки с разной тональностью звуков.

На телеуправляемой модели установлен микрофон ВМ, преобразующий командные сигналы в колебания звуковой частоты. После усиления колебания звуковой частоты поступают на входы селективных электронных реле СЭР1—СЭР3, на выходы которых включены электромагнитные реле К1—К3. Если частота командного сигнала близка к частоте фильтра одного из СЭР, например СЭР1, настроенного на эту частоту, сигнал проходит без потерь только через фильтр этого СЭР, вызывая срабатывание реле К1, а контакты реле включают цепь питания исполнительного механизма. Через фильтры других СЭР этот сигнал не проходит, и их реле не срабатывают. Если частота командного сигнала другая, близкая, например, к собственной частоте фильтра СЭР3, то срабатывает реле К3. Таким образом, звуковыми сигналами разных частот можно заставить срабатывать одно их трех СЭР, а они включат соответствующие им исполнительные механизмы модели.

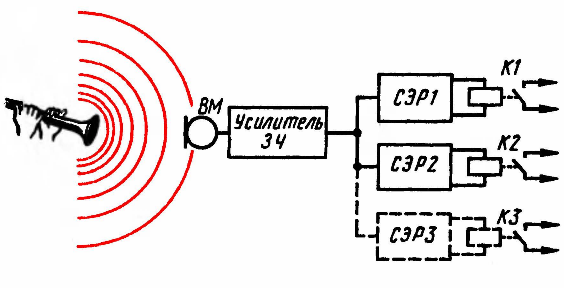


Рис. 347. Схема управления моделью звуком

Радиус действия такого передатчика (дудочки или свистков) ограничивается обычно 5...10 м, но этого вполне достаточно для управления простыми моделями автомобилей, тракторов или кораблей. Однако если воспользоваться генератором звуковых частот с усилителем, к выходу которого можно подключить динамическую головку, то такой передатчик будет излучать сигналы бо́льшей интенсивности, что значительно увеличит радиус действия аппаратуры. Генератор, кроме того, излучает более стабильные звуковые колебания, что повышает надежность работы аппаратуры в целом.

Число команд может быть больше трех. Для этого надо лишь добавить в дешифратор приемника соответствующее число СЭР. Но я советую сделать сначала двухкомандный приемник, испытать его на модели, а затем, если понадобится, добавить еще несколько фильтров для дополнительных команд.

Но прежде всего реши вопрос: дудочку или свистки использовать для подачи команд? Дудочка, конечно, интереснее, но во время управления можно ошибиться: зажмешь не то отверстие, и модель не выполнит нужной команды. Свистки в этом отношении надежнее: свистишь в свисток в правой руке — модель движется вперед, то же в левой — модель делает поворот.

До того как строить приемник, определи звуковые частоты, которые излучают твои свистки, чтобы знать, на какие частоты придется настраивать фильтры СЭР приемника. Подойдут любые свистки, лишь бы их звуки заметно различались по частоте. Определить частоту можно с помощью звукового генератора. Подключи к его входу динамическую головку и подай на нее такое напряжение, чтобы звуки в головке и одного из свистков были одинаковыми по силе. Попроси товарища непрерывно свистеть, а ты, сличая звуки свистка и генератора, изменяй частоту генератора до тех пор, пока не будут прослушиватья звуковые биения — звук очень низкого тона или полное пропадание звука. Положение указателя шкалы генератора будет соответствовать частоте звука свистка. Точно так же определяй звуковую частоту второго свистка (или звуковые частоты дудочки).

Для управления моделью нужны источники звуков, соседние частоты которых отличаются не менее чем на 250...300 Гц, например 1200 и 1500, 1300 и 2000 Гц, но не выходят за пределы диапазона 1000...3000 Гц и не различаются в целое число раз. Свистки, которыми располагали ребята, строившие описываемый здесь приемник, излучали звуковые колебания частотами 1150 и 1550 Гц.

Принципиальная схема приемника звукоуправляемой модели показана на рис. 348. Это

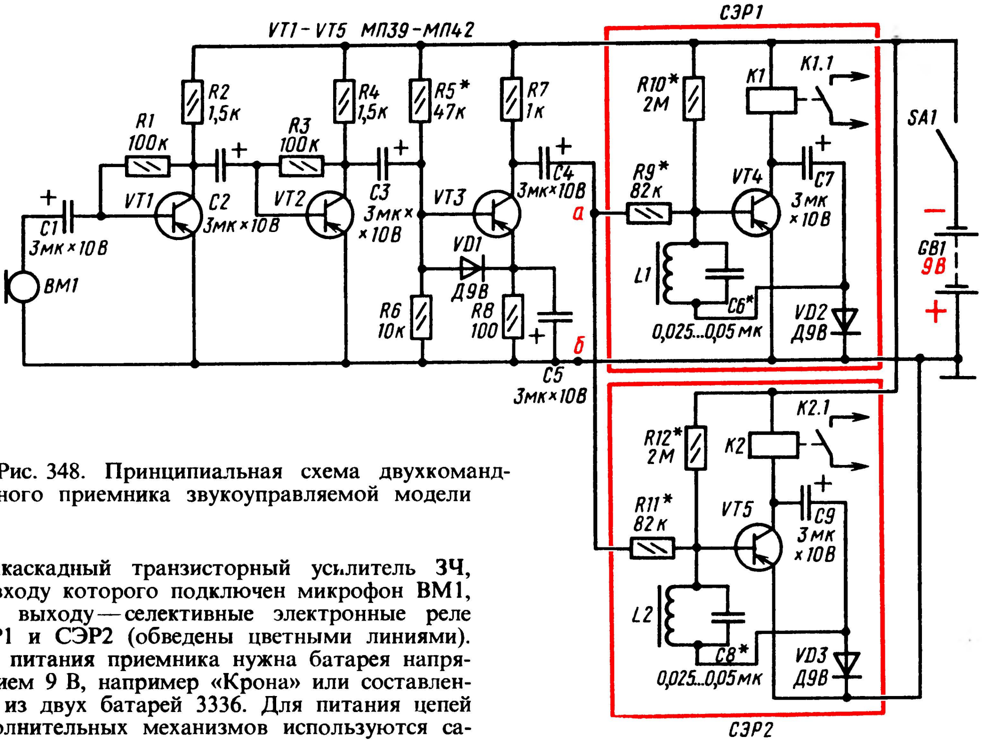


Рис. 348. Принципиальная схема двухкомандного приемника звукоуправляемой модели

трехкаскадный транзисторный усилитель ЗЧ, ко входу которого подключен микрофон ВМ1, а к выходу — селективные электронные реле СЭР1 и СЭР2 (обведены цветными линиями). Для питания приемника нужна батарея напряжением 9 В, например «Крона» или составленная из двух батарей 3336. Для питания цепей исполнительных механизмов используются самостоятельные источники постоянного тока.

При приеме микрофоном звуковых команд на его выходе возникает электрический сигнал, напряжение которого уменьшается с увеличением расстояния до источника звука. Уже на расстоянии 10...15 м оно равно примерно 100 мкВ. А чтобы надежно срабатывали СЭР, на их входы нужно подавать сигнал напряжением около 3 В. Следовательно, входной сигнал должен быть усилен примерно в 30 000 раз (3 В : 0,0001 В = 30 000). Первые три каскада приемника, в которых работают транзисторы VT1 — VT3, вполне обеспечивают такое напряжение, так как каждый из них дает примерно 30—35-кратное усиление.

В третий каскад усилителя введен диод VD1 (может быть любой точечный), ограничивающий наибольшее выходное напряжение этого каскада. Дело в том, что по мере уменьшения расстояния от модели до источника звука напряжение на выходе усилителя быстро увеличивается и может составить 50...100 мВ. Казалось бы, что при таком напряжении на входе усилителя СЭР дешифраторы должны работать более надежно. На самом же деле этого не происходит. При более высоком выходном напряжении усилителя могут срабатывать сразу все СЭР. Кроме того, при ложных срабатываниях исполнительных механизмов будут обгорать контакты электромагнитных реле.

Чтобы этого избежать, на третий каскад, собранный на транзисторе VT3, возложена задача не только обеспечить усиление сигнала, когда он слабый, но и ограничить его усиление по максимуму. Это и достигается с помощью диода VD1, работающего как детектор, автоматически снижающего усиление каскада при сильных сигналах. В целом же данные деталей каскада подобраны таким образом, чтобы, начиная с напряжения 100 мВ на его входе, которое развивают первые два каскада усилителя, амплитудное значение напряжения на его выходе (на схеме — точка *а*) не превышало 4 В.

Зависимость выходного напряжения ограничительного каскада от напряжения на его входе изображена графически на рис. 349. На графике видно, что как бы ни повышалось входное напряжение, начиная с 0,1 В, напряжение на выходе ограничительного каскада не увеличится более чем до 4 В.

С выхода ограничительного каскада усиленный сигнал через конденсатор С4 подается одновременно на входы обоих СЭР. Срабатывает же электромагнитное реле лишь того

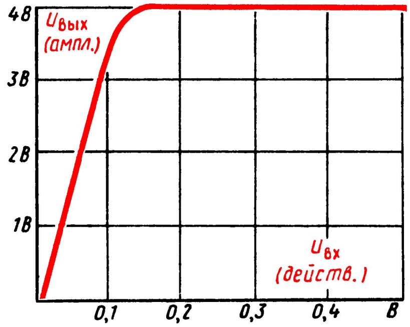


Рис. 349. Зависимость выходного напряжения ограничительного каскада от напряжения на его входе

СЭР, фильтр которого настроен в резонанс с частотой командного сигнала.

Приемник монтируй на гетинаксовой или текстолитовой плате толщиной 2...2,5 мм. Чертеж платы с разметкой отверстий на ней приведен на рис. 350, *а*. Отверстия диаметром 4 мм предназначены для крепежных винтов электромагнитных реле, диаметром 3 мм — для крепления платы на модели, отверстия меньшего диаметра — для проволочных монтажных стоек-шпилек.

Размещение деталей на плате и соединения между ними показаны на рис. 350, *б*, и *в*. Для монтажа используй медный провод диаметром 0,4...0,5 мм в поливинилхлоридной изоляции.

Для приемника нужны малогабаритные детали, иначе они не уместятся на монтажной плате или придется увеличивать ее размеры. Электромагнитные реле типа РЭС-10 (паспорт РС4.524.302), РЭС-6 (паспорт РФО.452.145) или самодельные. Диоды VD1 — VD3 серии Д9 или Д2 с любым буквенным индексом. Статический коэффициент передачи тока $h_{21\text{э}}$ всех транзисторов может быть от 50 до 100. Оксидные конденсаторы К50-3 или К50-1. Их емкости могут быть больше, чем указаны на схеме. Если будешь использовать конденсаторы К50-6, разметку отверстий для них в плате придется изменить.

Катушки L1 и L2 фильтров СЭР намотай на кольцах из феррита марки 1000НМ или 2000НМ с наружным диаметром 10...13 мм. Всего на каждое кольцо с помощью челнока намотай около 1000 витков провода ПЭВ-1 0,08...0,1. Если кольца из феррита марок 400НН или 600НН, тогда для каждой катушки фильтра придется использовать два кольца, склеив их вместе торцами клеем БФ-2. Катушки фильтров, намотанные на ферритовых кольцах, крепи на монтажной плате винтами диаметром 2...2,6 мм с гайками, как показано на рис. 351.

Микрофон BM1 — электромагнитный типа М1 (от слухового аппарата). Размещай его на амортизаторе, роль которого может выполнять пористая резина или поролон. Иначе от сотрясений модели могут быть ложные срабатывания приемника. Роль микрофона может также выполнять телефонный капсюль ДЭМ-4м или ТА-56М.

Даже при использовании малогабаритных деталей монтаж приемника получается очень плотным. В связи с этим принимай все меры, предупреждающие случайные соединения между деталями при ударах, которые неизбежны при испытании модели. На оксидные конденсаторы надень отрезки изоляционной трубки, чтобы избежать замыкания их корпусов с соседними деталями или монтажными стойками. На выводы транзисторов надень более короткие отрезки изоляционной трубки, что исключит замыкание базовых цепей.

Налаживание приемника начинай с проверки работы фильтров СЭР дешифратора. Сначала проверь фильтр СЭР первого, затем второго канала управления.

На вход селективного электронного реле СЭР1 через оксидный конденсатор С4, предварительно отпаяв его от резистора R7 и поменяв полярность его включения, подай от звукового генератора сигнал напряжением 3 В, а в коллекторную цепь транзистора VT4 включи миллиамперметр PA на ток 20...30 мА (рис. 352). Входное напряжение контролируй вольтметром переменного напряжения. При отсутствии сигнала на входе СЭР ток коллектора транзистора должен составлять 1,5...2 мА. Если этот ток значительно меньше, то уменьшай сопротивление резистора R10. При подключении параллельно этому резистору другого сопротивлением 1...2 кОм коллекторный ток транзистора должен резко возрасти, а реле сработать.

После этого приступай к настройке контура L1C6 на частоту одного из командных сигналов. А для этого придется, пользуясь звуковым генератором, прежде всего снять частотную характеристику фильтра. Работа эта кропотливая, требует большого внимания и точности, но без нее не удается заставить модель быть послушной командным сигналам. Кроме того, это поможет тебе прочно закрепить в памяти сущность работы дешифратора и получить наглядное представление о роли его деталей.

Следя за тем, чтобы напряжение сигнала на входе СЭР все время было равно 3 В, плавно изменяй частоту генератора примерно от 500 до 5000 Гц. Миллиамперметр в коллекторной цепи транзистора вначале будет показывать ток 1...2 мА. Затем на каком-то участке диапазона звуковых частот ток резко возрастает до

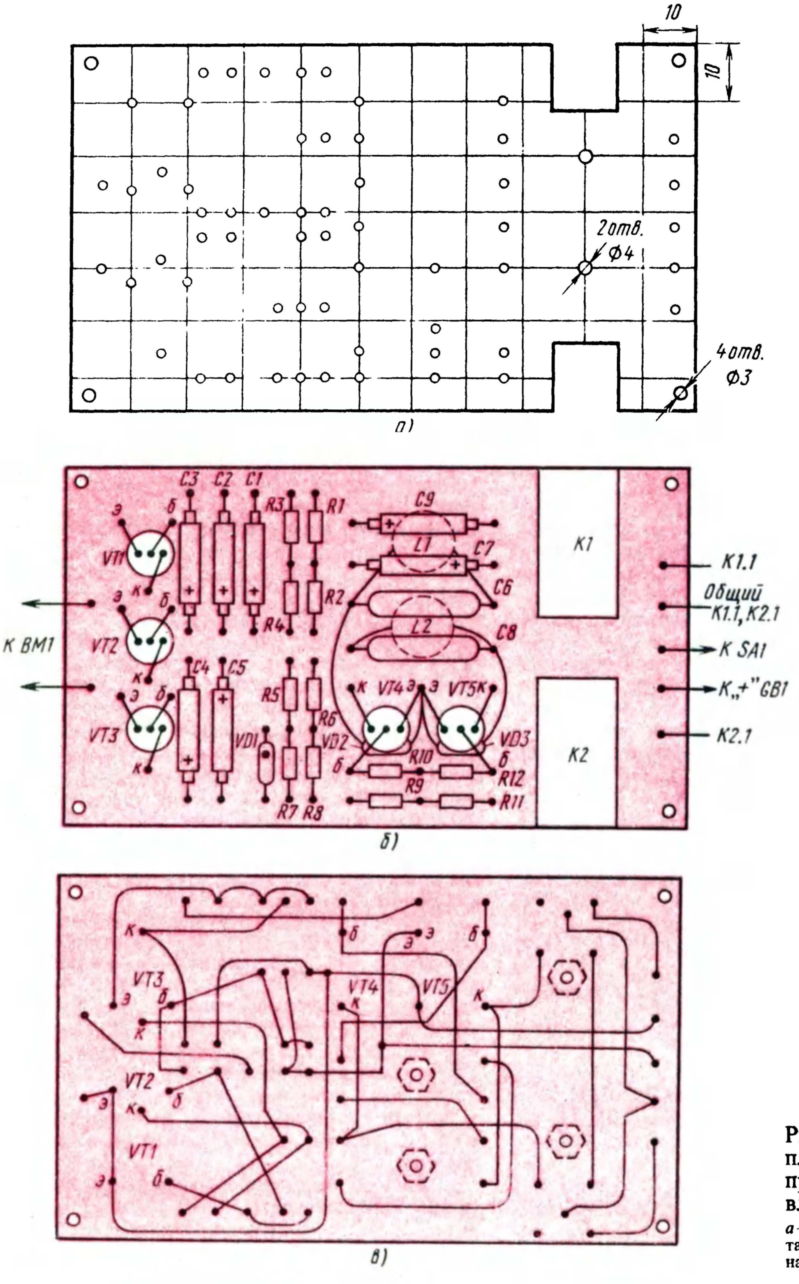

10
10
2отв.
Ф4
4отв.
Ф3
а)
C3
C2
C1
R3
R1
C9
L1
C7
C6
L2
C8
R2
R4
э
б
к
VT1
VT2
VT3
К ВМ1
C4
C5
R5
R6
VD1
VD2
VD3
VT4
VT5
R10
R9
R12
R11
R7
R8
K1
K2
K1.1
Общий
K1.1, K2.1
К SA1
К „+" GB1
K2.1
б)
в)

Рис. 350. Монтажная плата двухкомандного приемника звукоуправляемой модели:

а — плата; *б* — вид на монтажную плату сверху; *в* — вид на монтажную плату снизу

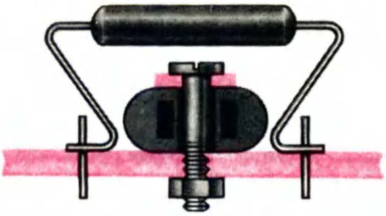


Рис. 351. Крепление деталей фильтра СЭР приемника на монтажной плате

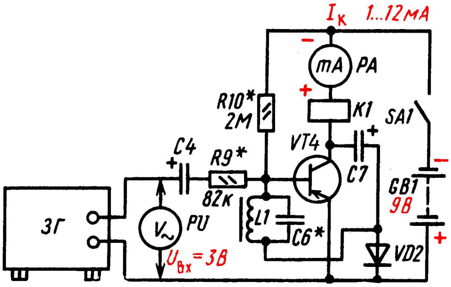


Рис. 352. Снятие частотной характеристики фильтра СЭР дешифратора

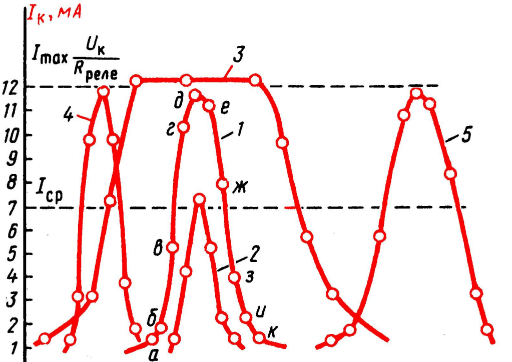


Рис. 353. Частотные характеристики фильтров с электромагнитным реле РЭС-10 (паспорт РС4.524.302)

8...12 мА, а при дальнейшем изменении частоты генератора снова уменьшится до 1...2 мА. Вот этот участок возрастания и спадания тока транзистора, который тебе надо изобразить графически, и есть частотная характеристика фильтра. Тебе надо знать, какой она получится и что надо сделать, чтобы настроить фильтр на частоту командного сигнала.

Возьми лист миллиметровой или клетчатой бумаги, начерти на ней две взаимно перпендикулярные линии — оси координат — и раздели их на одинаковые участки длиной по 5...10 мм (рис. 353). По вертикальной оси вверх откладывай значения тока коллектора $I_К$ в миллиамперах, а по горизонтальной вправо — значения частоты генератора в герцах. Допустим, что до частоты 1350 Гц ток коллектора не изменялся и был равен 1 мА. С этого момента, который на кривой 1 отмечен точкой *а*, ток начал увеличиваться. При частоте 1400 Гц он был равен 1,5 мА (точка *б*), при частоте 1450 Гц — 5 мА (точка *в*), а при частоте 1500 Гц — 10 мА (точка *г*). Если электромагнитное реле типа РЭС-10, с обмоткой сопротивлением 630 Ом (паспорт РС4.524.302), то при частоте 1550 Гц ток коллектора достигает наибольшего значения (точка *д*), а затем начинает уменьшаться. Если значения тока коллектора отмечать точками примерно через каждые 500 ГЦ, а затем все эти точки соединить сплошной линией, получится график частотной характеристики фильтра. Для нашего случая это будет кривая 1, соответствующая резонансной частоте фильтра 1550 Гц при R9 = 82 кОм и C6 = 0,05 мкФ.

Резонансная частота фильтра СЭР твоего приемника может быть иной, но форма кривой его частотной характеристики должна быть близка к форме кривой 1. Чем острее получится кривая частотной характеристики фильтра, тем выше его селективные свойства, тем, следовательно, выше качество работы приемной аппаратуры.

Допустим, что у тебя получилась именно такая кривая. Попробуй теперь (уже для эксперимента) сопротивление резистора R9 увеличить до 150...200 кОм и снова снять частотную характеристику фильтра. У тебя получится кривая, близкая к кривой 2. Резонансная частота фильтра останется той же, а максимальный ток коллектора окажется настолько малым, что реле не сработает. Далее попробуй, наоборот, уменьшить сопротивление этого резистора до 20...27 кОм и еще раз снять частотную характеристику фильтра. Резонансная частота фильтра опять-таки останется прежней, а кривая (3 на рис. 353), не поднявшись выше тока насыщения транзистора, охватит очень широкую полосу частот. Фильтр с такой характеристикой совершенно непригоден, так как его селективность окажется прескверной: СЭР станет срабатывать при сигналах самых различных частот.

Эти эксперименты, которые займут не более часа, позволят тебе судить о влиянии резистора

R9 на качество дешифратора приемника. Изменяя его сопротивление, тебе надо добиться, чтобы кривая частотной характеристики фильтра максимально приблизилась по форме к кривой 1.

Теперь увеличь емкость конденсатора С6, подключив параллельно ему второй конденсатор емкостью 0,05 мкФ, или замени его конденсатором емкостью 0,1 мкФ и снова сними частотную характеристику фильтра при R9 = 82 кОм. Кривая сдвинется в сторону низших звуковых частот (кривая 4), так как теперь собственная частота колебательного контура фильтра уменьшилась. А если емкость конденсатора С6 уменьшить, например, до 0,025 мкФ (R9 = 82 кОм), увеличив таким образом собственную частоту контура, то и кривая частотной характеристики фильтра сдвинется в сторону высших звуковых частот (кривая 5).

Итак, изменяя емкость колебательного контура фильтра СЭР, можно подобрать такую резонансную частоту его, которая соответствует частоте звуковой команды свистка или дудочки. Аналогичные результаты получатся, если изменять индуктивность контурной катушки фильтра. Таким образом, перед тобой стоит задача: снимая частотные характеристики и подбирая опытным путем данные контуров фильтров, настроить их на частоты звуковых команд. При этом следи, чтобы напряжение сигнала на выходе звукового генератора все время было равно 3 В. Когда резонансные частоты контуров фильтров обоих СЭР подгонишь под частоты командных сигналов, еще раз сними их частотные характеристики. Кривые не должны перекрывать друг друга, иначе могут происходить ложные срабатывания реле. Частотные характеристики фильтров приемника, изготовленного моими юными друзьями, о котором я здесь рассказываю, соответствовали кривым 1 и 5 (см. рис. 353).

Усилитель ЗЧ приемника, если в нем нет неисправных деталей и он смонтирован без ошибок, налаживания не требует. Проверить же его работу можно так. Вместо резистора R7 включи в цепь коллектора транзистора VT3 головные телефоны, а на вход усилителя — микрофон. Перед микрофоном подай звуковой сигнал свистком — в телефоне должен прослушиваться достаточно громкий звук, а одно из СЭР должно сработать. Громкость звука любой команды не должна меняться по мере удаления его источника от микрофона на расстояние до 10...12 м. Это подтвердит, что усилитель и каскад ограничения сигнала работают исправно. Налаженный таким образом приемник можно ставить на модель.

Если ты захочешь увеличить зону действия премника управляемой модели, тебе придется отказаться от свистков или дудочки и собрать более надежный передатчик звуковых команд. Принципиальная схема и возможная конструкция такого передатчика показаны на рис. 354. Он представляет собой симметричный мультивибратор с усилителем мощности. Нагрузкой усилителя служит динамическая головка BA1, являющаяся источником командных сигналов, включенная в коллекторную цепь транзистора VT3 через выходной трансформатор T1.

Передатчик четырехкомандный (с запасом на случай, если потребуется увеличить число команд). Управляется он четырьмя кнопочными выключателями (или тумблерами) SB1—SB4. Для питания потребуется источник напряжением около 12 В, составленный, например, из трех батарей 3336.

Частота звукового сигнала определяется сопротивлением того из резисторов R5—R8, который одной из кнопок SB1—SB4 включается (через резисторы R2 и R4) в базовые цепи транзисторов мультивибратора. Если ни один из этих резисторов не включен в эти цепи,

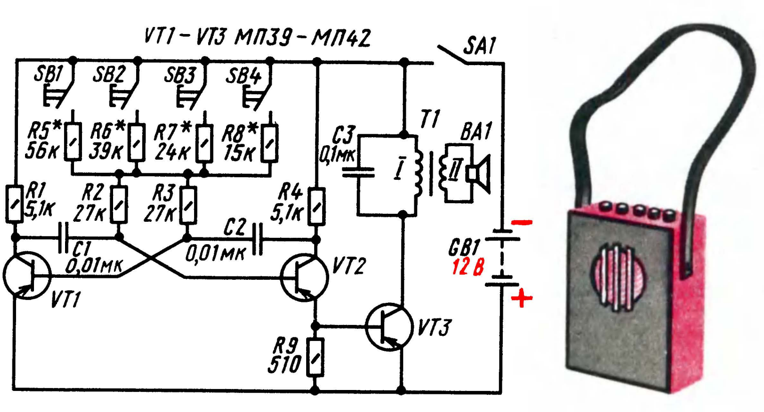


Рис. 354. Принципиальная схема (*а*) и возможная конструкция (*б*) передатчика звуковых команд

отрицательное напряжение не подается на базы транзисторов VT1 и VT2 и мультивибратор не возбуждается.

Подбирая резисторы R5 — R8 и пользуясь частотомером, генератор передатчика можно настроить на частоты 1550, 1950, 2350 и 2720 Гц. Если выберешь иные резонансные частоты фильтров СЭР приемника, соответственно придется подобрать и номиналы этих резисторов. Разумеется, число команд можно уменьшить.

Конструкция передатчика произвольная. Важно лишь, чтобы он был удобен при управлении моделью. Это может быть фанерный ящик размерами примерно 120 × 160 мм с ремешком, накидывающимся на шею. На передней стенке ящичка — динамическая головка, на верхней (или задней) — выключатель питания и кнопки управления передатчиком, внутри — монтажная плата и батарея питания.

АППАРАТУРА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЯМИ

Для радиоуправления моделями инспекцией электросвязи СССР отведен участок любительского диапазона 28,0...28,2 МГц и частота 27,12 МГц. Разрешенная мощностью передатчика не больше 1 Вт. Но для надежного управления моделями вполне достаточна мощность передатчика 0,25...0,5 Вт.

Лучше будет, если в этой работе ты объединишься с товарищем, увлекающимся постройкой автомобильных, дорожно-строительных, плавающих или летающих моделей. Он будет конструктором модели, а ты — конструктором аппаратуры телеуправления. И на соревнованиях вы будете выступать вместе, потому что работа коллективная.

Конструкторы радиоуправляемых моделей обычно используют многокомандную аппаратуру, когда радиочастотная энергия, излучаемая командным передатчиком, модулируется разными по частоте колебаниями звукового диапазона. При таком виде кодирования каждой команде соответствует свой звуковой тон модуляции. Канал связи один — радиоволны, а команд, выполняемых моделью, несколько.

Структурная схема аппаратуры такой системы телеуправления показана на рис. 355. Принцип работы аппаратуры сводится к следующему. Передатчик имеет несколько генераторов звуковых частот: F1 — F3 и т. д., выполняющих функцию кодирующего устройства. Нажиманием той или иной кнопки на пульте управления можно подключить к передатчику любой из звуковых генераторов. В результате излучаемая передатчиком радиочастотная энергия будет модулироваться соответствующей звуковой частотой.

Аппаратура, установленная на радиоуправляемой модели, представляет собой приемник радиочастотных модулированных сигналов с селективными электронами реле на выходе — такими же, как и в дешифраторе приемника звукоуправляемой модели. Срабатывает электромагнитное реле той ячейки дешифратора, фильтр которой настроен на соответствующую ему частоту командного сигнала.

Предлагаю для повторения сравнительно простую аппаратуру, разработанную в кружке телемеханики под руководством ныне покойного Н. Н. Путятина. Она двухкомандная и рассчитана на радиус действия до 10...12 м. Максимальная мощность в антенне передатчика, работающего на несущей частоте 28,1 МГц,

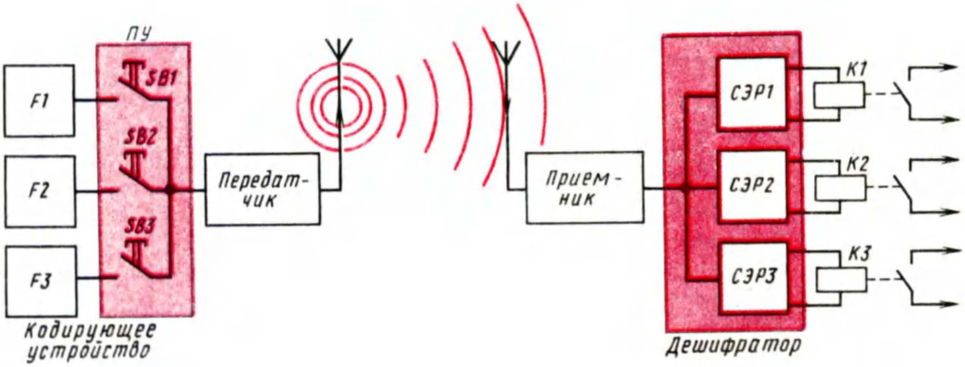


Рис. 355. Структурная схема многокомандной аппаратуры радиоуправления с кодированием колебаниями звуковой частоты

около 3 мВт, чувствительность приемника не хуже 5 мкВ.

Работу по изготовлению аппаратуры целесообразно начать с постройки передатчика, который позже значительно облегчит налаживание приемника радиоуправляемой модели.

Передатчик (рис. 356). В задающем генераторе передатчика работает n-p-n транзистор серии КТ315 (VT3), включенный по схеме индуктивной трехточки. Колебательный контур, образованный катушкой индуктивности L2 и конденсатором C5, настраивают на частоту 14,05 МГц. Контур же L3C7, включенный в коллекторную цепь транзистора, настраивают на частоту второй гармоники исходной частоты генератора, т. е. на частоту 28,1 МГц, которая и является несущей. Такое построение задающего генератора позволяет значительно повысить стабильность несущей частоты передатчика, а значит, и четкость командных сигналов. Через катушку L4, индуктивно связанную с катушкой L3, сигнал передатчика подается в антенну W1.

Настройка контуров L2C5 и L3C7 на соответствующие им частоты осуществляется подстроечными сердечниками катушек L2 и L3. Катушка L5 и конденсатор C8 служат для точной настройки контура антенной цепи на несущую частоту передатчика.

Напряжение источника питания на задающий генератор подается через транзистор VT2, входящий в симметричный мультивибратор модулятора. Частота импульсов, генерируемых мультивибратором, определяется данными его резисторов R1—R4 и конденсаторов C1 и C2. С такой же частотой транзистор VT2 открывается сам и малым сопротивлением участка эмиттер—коллектор замыкает цепь питания задающего генератора. При этом амплитуда колебаний задающего генератора становится не постоянной, а изменяется по закону колебаний мультивибратора. В результате несущая частота передатчика оказывается промодулированной частотой колебаний мультивибратора.

Частота мультивибратора и, следовательно, частота модулирующего сигнала зависят от состояния контактов кнопочного выключателя SB1. Пока они не замкнуты, частота этого сигнала составляет 1700 Гц. Это первый командный сигнал передатчика. При замыкании контактов кнопки, а значит и резистора R3, частота модулирующего сигнала становится равной 3000 Гц, что соответствует второму командному сигналу передатчика. Кнопка SB1, таким образом, управляет работой передатчика и установленного на управляемой модели приемника.

Источником питания передатчика служит батарея GB1, составленная из четырех дисковых аккумуляторов Д-0,1. Гнездовая часть разъема X1 предназначена для периодической подзарядки аккумуляторной батареи от внешнего зарядного устройства. Переключателем SA1 включают питание передатчика или переключают батарею на очередную подзарядку.

Дроссель L1 и конденсаторы C3, C4 образуют фильтр, предотвращающий проникновение колебаний задающего генератора в цепи модулятора и источник питания, что способствует стабильной работе передатчика.

Статический коэффициент передачи тока всех транзисторов передатчика должен быть не менее 50. Транзисторы VT1 и VT2 мультивибратора могут быть серий МП39—МП42, а транзистор VT3 задающего генератора—серий КТ312, КТ342 с любым буквенным индексом. Постоянные резисторы типа МЛТ, конденсаторы C1 и C2—КМ, C6—КЛС, остальные

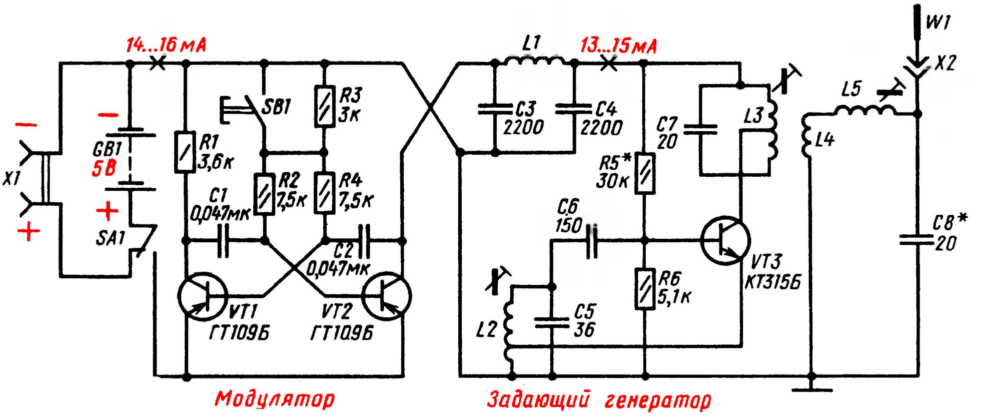


Рис. 356. Принципиальная схема двухкомандного передатчика для радиоуправления моделью

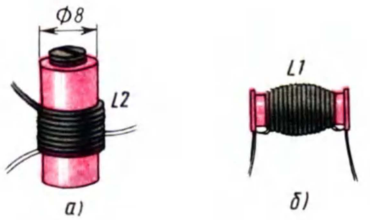


Рис. 357. Конструкции катушки и дросселя передатчика

конденсаторы — КД. Переключатель SA1 — микротумблер МТ1, кнопка SB1 — КМ1-II.

Катушки L2 — L5 намотаны на унифицированных каркасах диаметром 8 мм с подстроечными сердечниками внутри. Подойдут, например, каркасы контурных катушек телевизора «Рубин» выпуска прошлых лет. Катушка L2 (рис. 357, *а*) первого контура задающего генератора должна содержать 12 витков провода ПЭВ-1 0,35, намотанных виток к витку, с отводом от 4-го витка (считая снизу по схеме), а L5 — 10 витков провода ПЭВ-1 0,5. Катушки L3 и L4 намотаны на одном общем каркасе. Катушка L3, которую наматывают первой, содержит 12 витков провода ПЭВ-1 0,5 с отводом от середины, а L4 — 10 витков такого же провода, намотанных поверх катушки L3.

Основой дросселя L1 служит резистор УЛМ сопротивлением не менее 100 кОм, на корпус которого наматывают 225...230 витков провода ПЭВ-1 0,08 (рис. 357, *б*).

Детали передатчика, кроме переключателя SA1, кнопки SB1, резистора R3 и батареи питания, смонтированы на печатной плате из фольгированного гетинакса размерами 48 × 25 мм (рис. 358). Каркасы катушек L2 и L5 устанавливают на плате вертикально, а катушек L3 и L4 и дроссель L1 — горизонтально. При таком их размещении витки катушек и дросселя оказываются взаимно перпендикулярными, что практически исключает паразитную генерацию в передатчике. Переключатель SA1 и кнопку SB1 крепят на стенах корпуса передатчика. Резистор R3 припаивают непосредственно к выводам контактов кнопки SB1.

Для аккумуляторов батареи питания сделана специальная кассета, детали которой показаны на рис. 359. Ее нижняя 1 и верхняя 3 пластинки выпилены из листового органического стекла толщиной 2 мм, а две средние пластинки 2 с отверстиями под корпуса аккумуляторов Д-0,1 — из текстолита толщиной 1 мм. К нижней пластинке приклеивают полоску латунной фольги, которая должна соединять разноименные полюса двух средних аккумуляторов батареи. К верхней пластинке снизу приклеивают токосъемники 4, предварительно припаяв к ним проводники в поливинилхлоридной изоляции. В отверстия в промежуточных пластинках вкладывают аккумуляторы таким образом, чтобы они соединялись последовательно, и стягивают все пластинки кассеты винтами (М3 × 20) с потайной головкой.

Размещение деталей и узлов в корпусе передатчика показано на рис. 360. Основой корпуса служат два отрезка двутаврового алюминиевого проката с текстолитовыми вкладками на концах. Функцию переключателя SA1 может выполнять тумблер ТВ2-1, а кнопочного SB1 — микропереключатель МП1-1 или МП9.

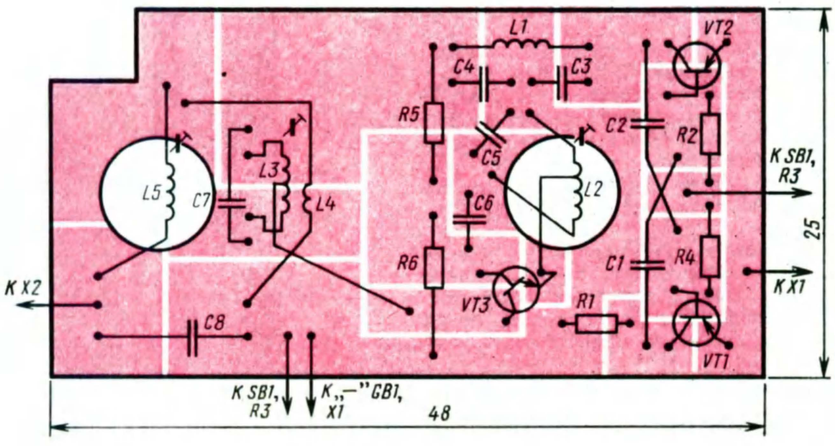
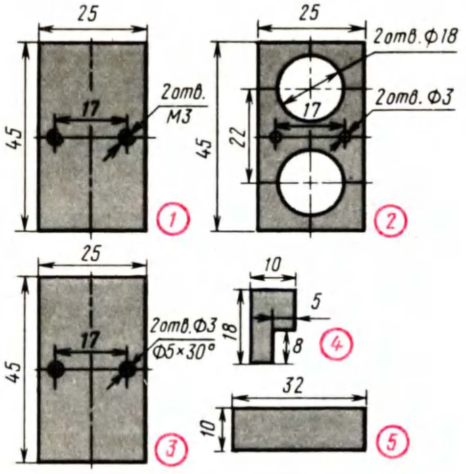


Рис. 358. Печатная плата и схема соединений деталей передатчика



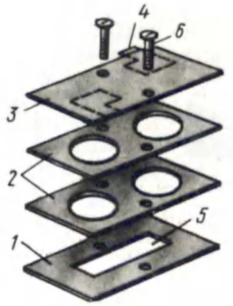


Рис. 359. Устройство кассеты для аккумуляторов:

1 — пластина нижняя, органическое стекло толщиной 2 мм, *2* — пластины средние, текстолит толщиной 1 мм, 2 шт; *3* — пластина верхняя, органическое стекло толщиной 2 мм; *4* — токосъемник, фольга латунная, лист толщиной 0,1 мм, 2 шт., *5* — перемычка, фольга латунная, лист толщиной 0,1 мм; *6* — винт M3×20 с потайной головкой, 2 шт.

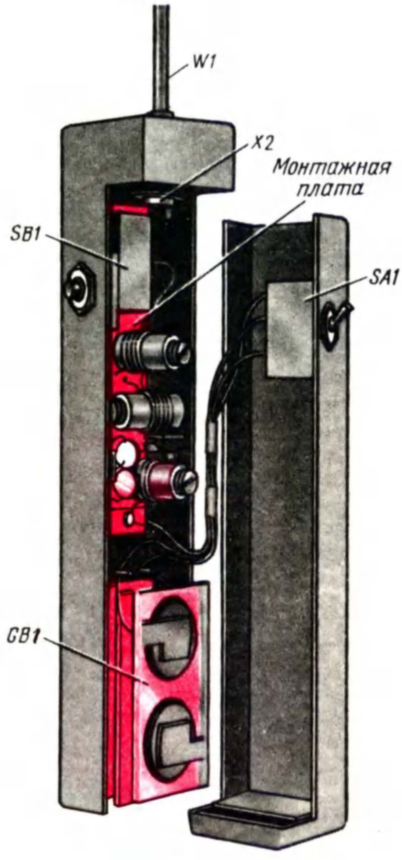
В качестве штыревой антенны передатчика использован металлический пруток диаметром 3 и длиной 490 мм. На конце прутка нарезана резьба M3, а для крепления антенны в корпусе передатчика установлено гнездо с такой же резьбой.

Налаживание передатчика начинай с задающего генератора. Вывод дросселя L1 отключи от коллектора транзистора VT2 и соедини его с положительным выводом батареи GB1. Замкнув накоротко выводы катушки L2, измерь потребляемый генератором ток. Он должен быть в пределах 3...5 мА. Установить такой ток можно подбором резистора R5. При размыкании выводов катушки L2 потребляемый генератором ток должен возрасти до 13...15 мА. Это признак нормальной работы задающего генератора.

Работу мультивибратора проверяй с помощью головных телефонов ТОН-1 или ТОН-2, подключенных через конденсатор типа МБМ емкостью 1 мкФ параллельно резистору R1 (при этом должно быть восстановлено соединение между коллектором транзистора VT2 и дросселем L1). При замыкании контактов выключателя SA1 высота звука должна возрастать.

Проверить работу мультивибратора можно и с помощью осциллографа, подключенного к резистору R1 вместо головных телефонов. В этом случае подбором резисторов R2 и R4 устанавливай одинаковую длительность импульса и паузы.

Затем настраивай контуры на требуемую частоту. Для этого потребуется промышленный волномер или точно отградуированный самодельный гетеродинный индикатор резонанса



(ГИР). Сначала на волномере установи частоту 14,05 МГц и поднеси его катушку к катушке L2 задающего генератора. Вращением сердечника этой катушки добейся максимального отклонения стрелки индикатора волномера. Затем на волномере установи частоту 28,1 МГц и поднеси его катушку к катушке L3 передатчика. Вращая ее сердечник, добейся максимума показаний индикатора волномера. Учти: волномер может влиять на частоту настраиваемого контура, поэтому по мере увеличения показаний индикатора желательно уменьшить связь катушки волномера с контуром (иначе говоря, нужно удалять катушку волномера). В заключение катушку волномера поднеси к средней части антенны передатчика и вращением сердечника катушки L5 добейся наибольшего отклонения стрелки индикатора волномера.

Настраивать контуры передатчика можно также с помощью любительского приемника, рассчитанного на работу в диапазонах 20 (14...14,35 МГц) и 10 м (28...29,7 МГц). Такой приемник наверняка найдется на коллективной радиостанции в ближайшей радиотехнической школе, на станции или в клубе юных техников, во Дворце пионеров и школьников или у знакомого радиолюбителя-коротковолновика.

В этом случае приемник настраивают сначала на частоту 14,05 МГц, а его антенный вход подключают через конденсатор емкостью 2...3 пФ к базе (или эмиттеру) транзистора VT3. Вращением сердечника катушки L2 добиваются появления в головных телефонах или громкоговорителе приемника звука низкого тона (сигнал модуляции передатчика) максимальной громкости. Таким же способом настраивают сначала контур L3C7, а затем катушку L5, подключив вход приемника к антенне передатчика (через тот же конденсатор). Ручку настройки приемника устанавливают при этом на частоту 28,1 Мгц.

Приемник радиоуправляемой модели (рис. 361) образуют усилитель радиочастоты, сверхрегенеративный детектор, усилитель колебаний звуковой частоты и дешифратор, состоящий из двух селективных электронных реле. Принятый антенной W1 модулированный сигнал передатчика поступает через конденсатор C1 на вход усилителя РЧ, выполненного на транзисторах VT1 и VT2 с непосредственной связью. С высокочастотного дросселя L1, являющегося нагрузкой усилителя РЧ, сигнал далее через конденсатор C3 подается на контур L2C4 сверхрегенеративного детектора, обеспечивающего приемнику необходимую чувствительность.

Что представляет собой сверхрегенератор и чем он отличается от обычного регенератора — однокаскадного приемника прямого усиления с положительной обратной связью между

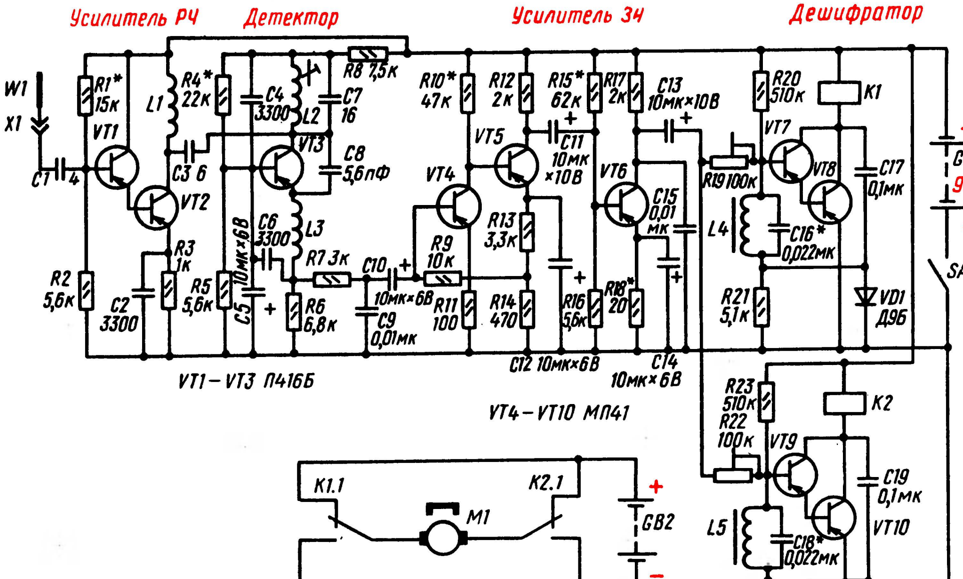

Усилитель РЧ
Детектор
Усилитель ЗЧ
Дешифратор
W1
X1
C1 4
R1* 15к
VT1
VT2
R2 5,6к
C2 3300
R3 1к
L1
R4* 22к
C3 6
R5 5,6к
C5 10мк×6В
C4 3300
L2
C7 16
VT3
C8 5,6пФ
C6 3300
L3
R6 6,8к
R7 3к
R8 7,5к
C10
C9 0,01мк
10мк×6В
R9 10к
VT4
R10* 47к
R11 100
R12 2к
VT5
R13 3,3к
R14 470
C11 10мк ×10В
R15* 62к
R16 5,6к
R17 2к
VT6
C15 0,01 мк
R18* 20к
C12 10мк×6В
C13 10мк×10В
C14 10мк×6В
R19 100к
L4
C16* 0,022мк
R20 510к
VT7
VT8
K1
C17 0,1мк
VD1 Д9Б
R21 5,1к
GB1 9В
SA1
R23 510к
R22 100к
K2
VT9
VT10
C19 0,1мк
L5
C18* 0,022мк
R24 5,1к
VD2 Д9В
VT1–VT3 П416Б
VT4–VT10 МП41
K1.1
K2.1
M1
GB2

Рис. 361. Принципиальная схема приемника

выходной и входной цепями? Регенератор работает в режиме, близком к порогу возникновения генерации: достаточно немного усилить обратную связь, как он самовозбуждается и становится генератором колебаний радиочастоты. Сверхгенератор же работает за порогом генерации. Но собственные колебания в его контуре имеют не постоянный, как в регенераторе, а прерывистый характер — они возникают «вспышками». Частота этих вспышек, называемая частотой гашения, определяется режимом транзистора. В остальном сверхгенератор работает так же, как обычный регенератор, т. е. детектирует модулированные колебания радиочастоты и усиливает колебания звуковой частоты. Благодаря прерывистой генерации сверхрегенератор обладает исключительно высокой чувствительностью, с которой не могут соперничать даже многие супергетеродины, не говоря уже о приемниках прямого усиления.

Характерная особенность в работе сверхрегенератора — шум в телефоне (напоминающий шипение примуса). Но он слышен только тогда, когда нет приема. Когда же в его контуре появляются модулированные колебания принятого сигнала, этот шум пропадает.

Колебательный контур L2C4, являющийся входным контуром сверхрегенеративного детектора приемника, настраивают на частоту 28,1 МГц (среднюю частоту участка 28,0...28,2 МГц). Частота гашения определяется данными цепочки R6, C5, C6 и равна 60...100 кГц. Наивыгоднейший режим сверхрегенератора устанавливают подбором резистора R4, добиваясь от каскада максимальной чувствительности. Устойчивость работы сверхрегенеративного каскада достигается подбором емкости конденсатора C8.

В результате работы сверхрегенератора на резисторе R6 выделяется переменное напряжение с частотой, равной частоте модуляции передатчика, т. е. командного сигнала. Но на этом резисторе выделяется еще и напряжение частоты гашения сверхгенератора (60...100 кГц), амплитудное значение которого значительно больше напряжения полезного. Поэтому между сверхрегенератором и следующим каскадом приемника включен фильтр R7C9, пропускающий полезный сигнал и задерживающий (фильтрующий) напряжение частоты гашения. Без такого фильтра последующие каскады будут перегружены напряжением частоты гашения и приемник не будет реагировать на командный сигнал.

Через фильтр R7C9 и конденсатор C10 командный сигнал поступает на вход трехкаскадного усилителя ЗЧ. Первые его два каскада на транзисторах VT4 и VT5 охвачены отрицательной обратной связью по постоянному току, что повышает термостабильность усилителя. Третий каскад на транзисторе VT6 является дополнительным усилителем и одновременно ограничителем амлитуды командного сигнала. Ограничительный каскад был и в приемнике звукоуправляемой модели. Уровень ограничения сигнала в этом каскаде устанавливают подбором резисторов R15 и R18 при налаживании приемника.

С резистора R17 усиленный и ограниченный по амплитуде сигнал поступает через конденсатор C13 на вход дешифратора, состоящего из двух селективных электронных реле, с принципом работы которых ты уже знаком. Первое из этих реле, в котором работает составной транзистор VT7 VT8, рассчитано на командный сигнал передатчика частотой 1700 Гц. На эту частоту настроен контур L4C16. Выделенное им напряжение усиливается составным транзистором и с нагрузки, роль которой выполняет обмотка реле K1, поступает на диод VD1. В результате детектирования на резисторе R21 появляется постоянное напряжение, приложенное минусом к выводу базы транзистора VT7, а плюсом — к общему проводу (плюс источника питания). Коллекторный ток составного транзистора возрастает, и электромагнитное реле K1 срабатывает. Своими контактами K1.1 оно подключает электродвигатель M1 к батарее питания GB2, и модель движется вперед.

Если же на входе дешифратора будет командный сигнал частотой 3000 Гц, сработает реле K2 и его контакты K2.1 также подключат электродвигатель к батарее питания, но уже в другой полярности. Модель будет двигаться назад.

Детали приемника смонтированы на двух платах из листового гетинакса: на одной размещены детали радиоприемной части с усилителем ЗЧ (рис. 362), на другой — детали дешифратора (рис. 363). Опорами для выводов деталей служат пустотелые заклепки. Соединения между опорами, показанные цветными линиями, выполнены монтажным проводом в поливинилхлоридной изоляции.

Коэффициент $h_{21\text{э}}$ всех транзисторов должен быть не менее 40. Постоянные резисторы могут быть МЛТ-0,125 или МЛТ-0,25, подстроечные (R19, R22) — СП3-1а. Конденсаторы C1, C3, C7, C8 — типа КД, C2, C4, C6 — КТ, C5 и C10 — C14 — К50-3, C9, C15, C16 и C18 — БМ-2, C17 и C19 — МБМ.

Катушка L2 намотана на таком же каркасе, что и катушки передатчика, и содержит 10 витков провода ПЭВ-1 0,5. Катушки L4 и L5 наматывают каждую на трех сложенных вместе кольцах из феррита 2000НН с наружным диаметром 10, внутренним 6 и толщиной 5 мм. Катушка L4 должна содержать 2000, а L5 — 1500 витков провода ПЭВ-1 0,1. Основой высокочастотных дросселей L1 и L3 служат

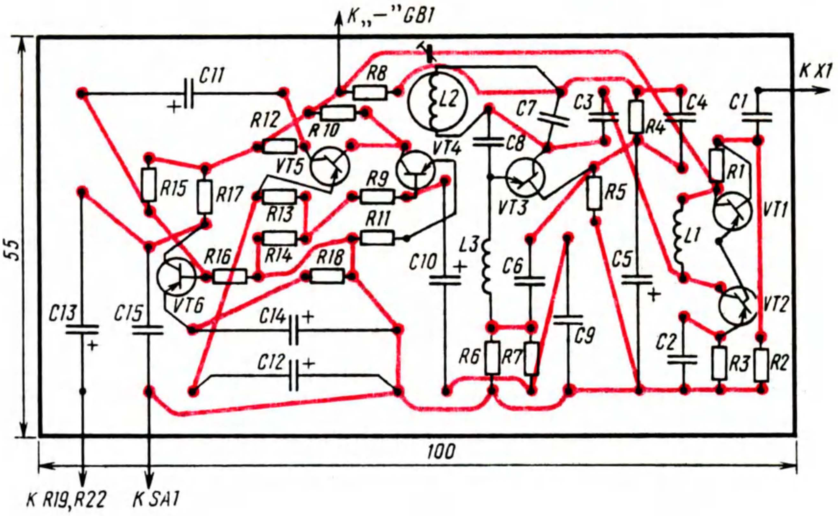
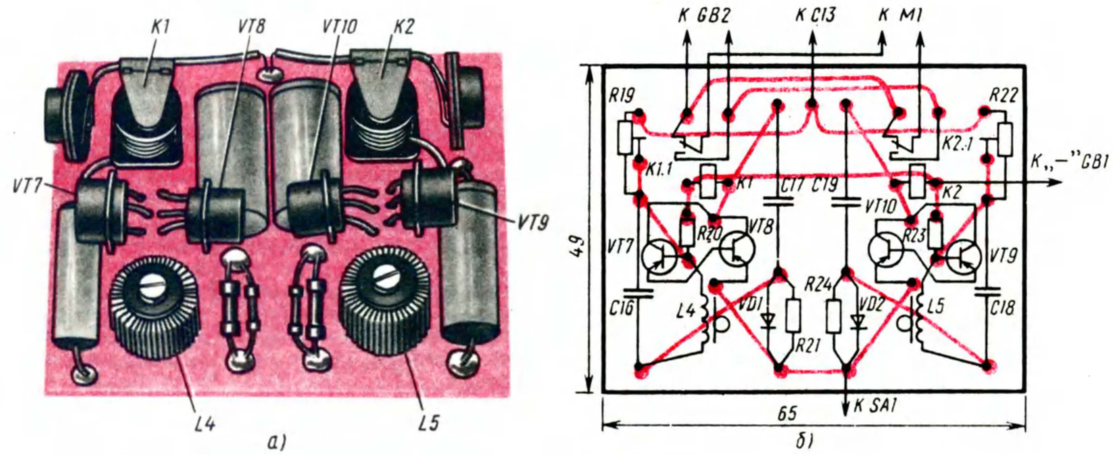

К „–" GB1
К X1
C11
R8
L2
R12
R10
C7
C3
C4
C1
R4
VT5
VT4
C8
R15
R17
R9
VT3
R5
R1
VT1
R13
R11
L1
55
R16
R14
R18
C10
L3
C6
C5
VT6
C13
C15
C14
VT2
C9
C2
C12
R6
R7
R3
R2
100
К R19, R22
К SA1

Рис. 362. Монтажная плата


K1
VT8
VT10
K2
VT7
VT9
L4
L5
К GB2
К C13
К M1
R19
R22
K1.1
K2.1
К „–" GB1
K1
C17
C19
VT10
K2
R20
VT8
R23
VT7
VT9
49
C16
L4
VD1
R24
VD2
L5
C18
R21
К SA1
65

а) *б)*

Рис. 363. Схема соединений деталей на плате дешифратора (*а*) и внешний вид готовой платы (*б*)

резисторы МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 100 кОм. Каждый дроссель содержит 200 витков провода ПЭВ-1 0,1.

Электромагнитные реле K1 и K2 — РЭС-10 (паспорт РС4.524.302), но у них нужно ослабить возвратные пружины якоря, чтобы добиться срабатывания реле при напряжении 6...6,5 В. Эту работу нужно проводить осторожно, контролируя после каждой регулировки пружины напряжение срабатывания.

Источником питания приемника служат шесть последовательно соединенных элементов 316. Потребляемый приемником ток составляет 13...16 мА.

Радиоуправляемой моделью может быть любая самоходная игрушка, например луноход, танк, автомобиль, катер с одним приводным электродвигателем. Соответственно электродвигателю должно быть и напряжение питающей его батареи GB2 (обычно 4,5 В). Монтажные платы приемника и источники питания размещай в корпусе игрушки без крепления, но между платами сделай прокладку из поролона.

Антенну сделай из луженого медного провода диаметром 1,5 и длиной 250 мм. Один конец провода изогни в виде петли и винтом М3 прикрепи к корпусу игрушки. Под головку винта крепления антенны подложи металлический лепесток и соедини его монтажным проводом с конденсатором С1 приемника.

Налаживание приемника начинай с усилителя ЗЧ. Для этого понадобятся генератор колебаний звуковой частоты и осциллограф. Конденсатор С10 временно отключи от конденсатора С9 и на вход усилителя (вывод базы транзистора VT4) подай (через бумажный конденсатор емкостью 1 мкФ) от генератора сигнал частотой 1000 Гц и напряжением 1 мВ. На выход усилителя (к плюсовому выводу конденсатора С13, временно отключенного от входа дешифратора) подключи осциллограф. Подбором резисторов R10 и R15 добейся наибольшего размаха колебаний на экране осциллографа, а подбором резистора R18 — симметричного, т. е. одинакового сверху и снизу, ограничения сигнала. Амплитудное значение выходного напряжения должно быть в пределах 5,3...5,9 В.

Затем проверь работу ограничителя. При увеличении входного сигнала до 15...20 мВ выходной сигнал не должен изменяться более чем на 0,1 В.

После этого генератор отключи и восстанови соединение конденсаторов С10 и С9. Теперь подбором резистора R4 добивайся максимальной «размытости» линии развертки на экране осциллографа, т. е. максимальной амплитуды шумов на выходе усилителя. Затем включи передатчик, расположи его на расстоянии 5...6 м от приемника и вращением сердечника катушки L2 настрой приемник на частоту передатчика. При точной настройке шумы должны исчезнуть и на экране осциллографа будет виден модулирующий сигнал (колебания мультивибратора). Остается подбором резистора R1 добиться его максимальной амплитуды.

Дешифратор настраивай в таком порядке. К контактам реле К1 подключи вместо электродвигателя лампочку накаливания МН6,3-0,26, а параллельно его обмотке — осциллограф. Движки подстроечных резисторов R19 и R22 установи в крайнее правое (по схеме) положение и восстанови соединение оксидного конденсатора С13 со входом дешифратора. Включи передатчик, отнесенный от приемника на расстояние 6...8 м, и подай первый командный сигнал (контакты выключателя SB2 передатчика разомкнуты). Подбором конденсатора С16 добейся максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа, а затем подстроечным резистором R19 — четкого срабатывания реле К1 и загорания сигнальной лампочки.

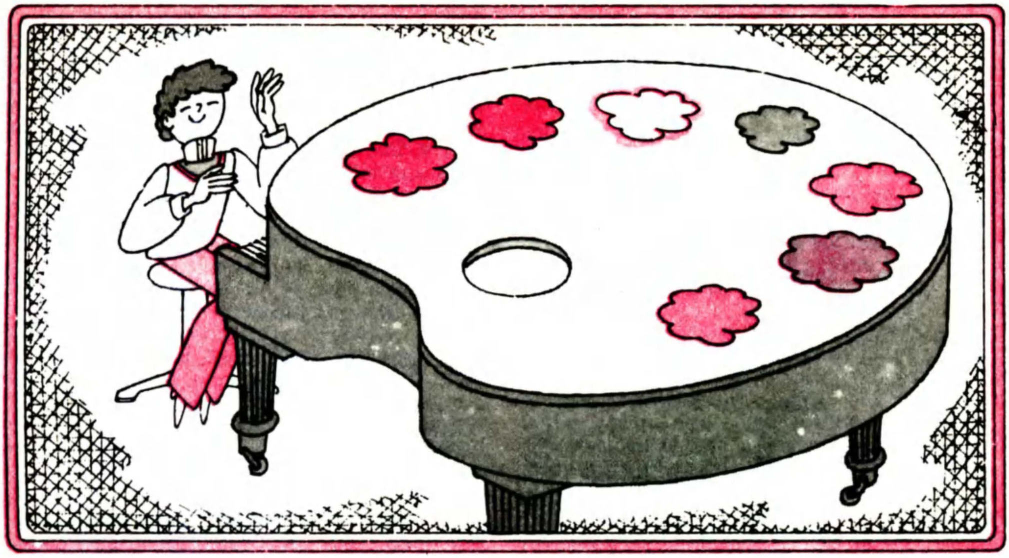
Таким же способом, только подбирая теперь конденсатор С18 и сопротивление подстроечного резистора R22, налаживай вторую ячейку дешифратора при втором командном сигнале передатчика (контакты SB2 замкнуты).

Окончательно действие аппаратуры проверяй при подключенном электродвигателе радиоуправляемой модели или игрушки.

Описанный здесь двухкомандный приемник можно установить на модели или игрушке с двумя тяговыми электродвигателями, например самоходном танке на гусеничном ходу. В таком случае электродвигатель каждой гусеницы будет включаться или выключаться контактами реле той ячейки дешифратора, к которым он будет подключен. Надо, скажем, повернуть модель вправо, по команде передатчика обесточивается электродвигатель правой гусеницы, а если в другую сторону — левой гусеницы. В принципе же возможно увеличение числа команд до 5. Для этого придется добавить в дешифратор приемника соответствующее число селективных электронных реле, а в передатчик — дополнительные резисторы с кнопками, при нажатии которых будет изменяться частота колебаний мультивибратора. Сопротивления резисторов выбирай такими, чтобы частоты командных сигналов соответствовали 1150, 1700, 2350, 3000, 3500 Гц. На эти же частоты должны быть настроены и колебательные контуры селективных реле дешифратора.

* * *

Аппаратуру радиоуправления, о которой я рассказал в этой беседе, называют аппаратурой дискретного действия, т. е. действия по вполне определенным, заранее обусловленным командам. С конструирования такой аппаратуры обычно и начинается увлечение телемеханикой. Значительно же большими возможностями обладает радиоаппаратура пропорционального управления, когда модель реагирует не на отдельные выборные команды, а на непрерывную программу, диктуемую передатчиком. Такая аппаратура сложнее дискретной, но она технически интересней ее и, конечно, перспективнее.



БЕСЕДА ДВАДЦАТАЯ

ЗНАКОМСТВО С ЭЛЕКТРО- И ЦВЕТОМУЗЫКОЙ

По радио, телевидению, с эстрады концертных залов мы все чаще стали слушать музкальные произведения, исполняемые оркестрами электромузыкальных инструментов. Электромузыка обязана своим появлением терменвоксу, построенному в 1921 г. советским инженером и музыкантом Л. С. Терменом. Терменвокс — бесклавишный и безграфовый электромузыкальный инструмент. В нем применены методы бесконтактного управления высотой и громкостью звука. Первый грифовый электромузыкальный инструмент появился в нашей стране в 1922 г., а первый клавишный — в 1937 г.

На выставках творчества радиолюбителей-конструкторов все больше стали демонстрироваться цветомузыкальные установки — устройства цветового сопровождения музыкальных произведений. Что же касается самой идеи цветомузыки, то она значительно «старше» электромузыки. Электромузыка и цветомузыка стали увлечением многих радиолюбителей. Не исключено, что они увлекут и тебя. И если случится именно так, то эта беседа поможет тебе сделать первые шаги в этой интересной области радиоэлектроники.

Начну с элементарной музыкальной грамоты.

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ МУЗЫКАЛЬНОГО ЗВУКА

Любой звук, в том числе и музыкальный, прежде всего характеризуется высотой. Высота музыкального звука зависит от геометрических размеров того вибратора, который создает этот звук. Наиболее распространенными вибраторами являются струны рояля, пианино, скрипки, гитары и других струнных музыкальных инструментов. Если тебе приходилось заглядывать внутрь рояля или пианино, то ты не мог не заметить, что их струны, создающие наиболее высокие звуки, значительно короче и тоньше струн, создающих наиболее низкие звуки.

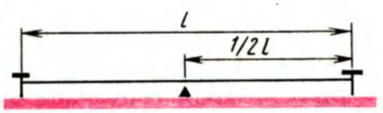


Рис. 364. Опыт со струной

Проведи такой опыт. Вбей в доску длиной около 1 м два гвоздя и натяни между ними тонкую стальную проволоку, рыболовную леску или прочную нитку (рис. 364). Оттяни слегка струну и отпусти. Она, колеблясь, создаст звук. Запомни высоту этого звука. Теперь найди точно середину струны, подставь под нее в этом месте какой-либо небольшой твердый предмет и заставь колебаться одну из половинок струны. Что получилось? Звук, созданный половиной струны, очень похож на звук всей струны, но он более высокий. Ты вдвое сократил геометрические размеры струны. При этом высота звука тоже удвоилась. Частотный интервал между двумя такими звуками называют октавой.

Числом октав оценивают диапазоны звуковых частот музыкальных инструментов, голоса людей, певчих птиц. Звуковой спектр пианино, например, $7^1/_2$ октавы. Середина клавиатуры такого музыкального инструмента показана на рис. 365. Это первая октава. Она начинается со звука «до» и кончается звуком «си». Вверх от этой октавы (на рис. 365 — вправо) идет вторая октава, за ней третья, четвертая и неполная пятая октавы, а вниз (на рис. 365 — влево) — малая октава, большая октава, контроктава и несколько клавишей субконтроктавы.

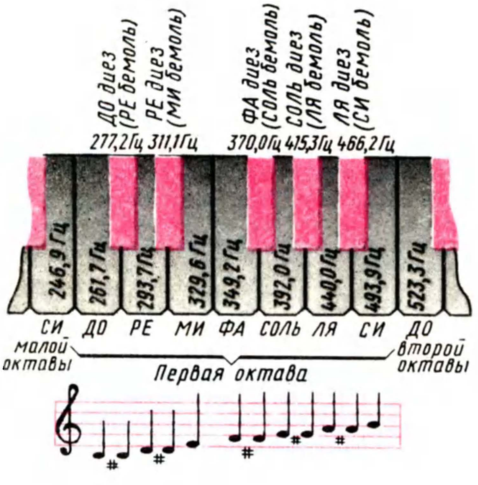


Рис. 365. Звуки первой октавы и ее частотный диапазон

Всего, таким образом, более семи октав, охватывающих диапазон звуковых частот примерно от 25 до 4000...4500 Гц. Фактически же верхний участок диапазона звуковых колебаний, возбуждаемых струнами пианино или рояля, значительно больше за счет гармоник звуковых колебаний основных частот.

В каждой октаве двенадцать клавишей. Из них семь белых, соответствующих звукам «до», «ре», «ми», «фа», «соль», «ля» и «си» и пять черных, соответствующих звукам «до-диез» («ре-бемоль»), «ре-диез» («ми-бемоль»), «фа-диез» («ля-бемоль») и «ля-диез» («си-бемоль»). Струна каждой клавиши настроена на строго определенную частоту колебаний. На рис. 365 частоты колебаний струн первой октавы указаны на клавишах и возле них. Посмотри на эти цифры. По ним можно судить о частотах звуков любой другой октавы. Ведь частоты звуков каждой октавы в два раза больше или меньше частот звуков соседней. Так, например, частота звука «си» первой октавы в два раза больше частоты звука «си» малой октавы, а частота звука «до» первой октавы в два раза меньше частоты звука «до» второй октавы.

При настройке музыкальных инструментов за эталон принят звук «ля» первой октавы. Частота колебаний вибраторов, содающих этот звук, равна 440 Гц. Подсчитай, какова должна быть частота «ля» других октав звукового диапазона.

Источником звука может быть головка громкоговорителя, к которой подводится переменное напряжение, например, от генератора звуковой частоты. А если частоту колебаний этого генератора изменять плавно или скачкообразно? Тогда также плавно или скачкообразно будет изменяться высота звука, создаваемого головкой громкоговорителя. Этот принцип и лежит в основе работы электромузыкальных инструментов.

ТЕРМЕНВОКС

Структурная схема этого исторического электромузыкального инструмента показана на рис. 366. Он состоит из двух генераторов, смесителя и усилителя ЗЧ, на выход которого включена головка громкоговорителя. Частота генератора Г1 фиксированная, например 100 000 Гц, частота генератора Г2 может плавно изменяться в некоторых пределах, например от 100 050 до 105 000 Гц. Колебания обоих генераторов подают на вход смесителя. На выходе смесителя образуются колебания, частота которых зависит от настройки контура генератора Г2 и может изменяться в довольно широких

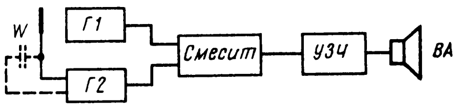


Рис. 366. Структурная схема терменвокса

пределах. Для нашего примера наивысшая звуковая частота будет 105 000—100 000 = = 5000 Гц, а наинизшая 100 050—100 000 = = 50 Гц, т. е. она может изменяться от 50 Гц до 5 кГц. После усиления головка громкоговорителя преобразует колебания этих частот в звуки соответствующих им высот.

Исполнитель музыкального произведения изменением расстояния ладони руки относительно антенны-штыря изменяет частоту генератора с плавной настройкой. Антенна подключена к колебательному контуру этого генератора. Ладонь руки и антенна в данном случае являются не чем иным, как обкладками конденсатора, емкость которого изменяется в зависимости от расстояния между ними. А поскольку этот «конденсатор переменнной емкости» вместе с антенной подключен к колебательному контуру генератора, частота его изменяется. Это — главное в инструменте, созданном Л. С. Терменом.

Разумеется, что в терменвоксе есть узлы, позволяющие изменять тембр и громкость звука — все то, что заставляет звук «жить». Вообще же он представляет собой относительно сложное радиотехническое устройство. Но главная сложность заключается не в конструкции, а в технике игры на этом инструменте. Не всякий музыкант может хорошо исполнять на нем произведения композиторов. И именно поэтому, на мой взгляд, тебе нецелесообразно только ради интереса браться за конструирование терменвокса, отвечающего высоким требованиям музыкального искусства. А вот иметь хотя бы общее представление о принципе построения этого интереснейшего бесклавишного и безгрифового музыкального инструмента, полагаю, полезно.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РОЯЛЬ

С наипростейшим электромузыкальным инструментом (ЭМИ) я однажды тебя уже знакомил. Да, то было в девятой беседе. Теперь хочу познакомить с работой и предложить для повторения электронный рояль.

Общее представление об устройстве и работе этого сравнительно несложного одноголосного ЭМИ дает его структурная схема, изображенная на рис. 367, *а*. В нем, как и во многих подобных ему одноголосных инструментах, два генератора: генератор тона, частота колебаний которого управляется клавиатурой, и генератор вибрато, частота колебаний которого практически постоянна и не превышает нескольких герц. Колебания генератора вибрато модулируют колебания генератора тона; модулированные колебания усиливаются и преобразуются динамической головкой BA в звуковые колебания. Благодаря генератору вибрато звук инструмента становится вибрирующим, что делает его более приятным для слуха.

Принципиальная схема электронной части такого ЭМИ показана на рис. 367, *б*. Генератор тона, в котором работают транзисторы VT3 и VT4, представляет собой разновидность несимметричного мультивибратора, генерирующего колебания пилообразной формы. Полный диапазон частот такого генератора может достигать четырех октав. Здесь же частота его колебаний изменяется скачкообразно при замыкании контактов клавишных переключателей SB1 — SB17, включающих в цепь эмиттера транзистора VT3 резисторы R1 — R17. Эти резисторы, сопротивления которых подбирают опытным путем во время настройки инструмента, образуют частотозадающую цепь генератора тона.

В частотозадающей цепи семнадцать резисторов, значит, на такое же число фиксированных частот может быть настроен и генератор тона. В нашем случае — от частоты звука «до» первой октавы до частоты звука «ми» второй октавы. Поскольку резисторы соединены между собой последовательно, фиксированная частота колебаний генератора определяется теми резисторами, которые включены в эмиттерную цепь транзистора VT3. Если, например, замкнуты контакты SB16, частота генератора определяется только суммарным сопротивлением резисторов R16, R17 и R28. При это замыкание любых других, расположенных слева (по схеме) от уже замкнутых контактов, не изменяет сопротивления частотозадающей цепи и, следовательно, частоты генератора тона.

Колебания генератора тона, снимаемые с эмиттера его транзистора VT3, через конденсатор C6 подаются в цепь базы транзистора VT5 усилителя ЗЧ. Конденсатор C5 и переменный резистор R29, соединенные между собой последовательно и подключенные параллельно конденсатору C4, образуют цепь, с помощью которой можно осуществлять общую подстройку всех фиксированных частот генератора в пределах полутона. Чтобы частоты генератора тона были устойчивы и не «плавали» с изменениями напряжения источника тока, в цепь питания его транзисторов включен стабилитрон VD1. Он поддерживает постоянное напряжение питания генератора около 7,2 В (в

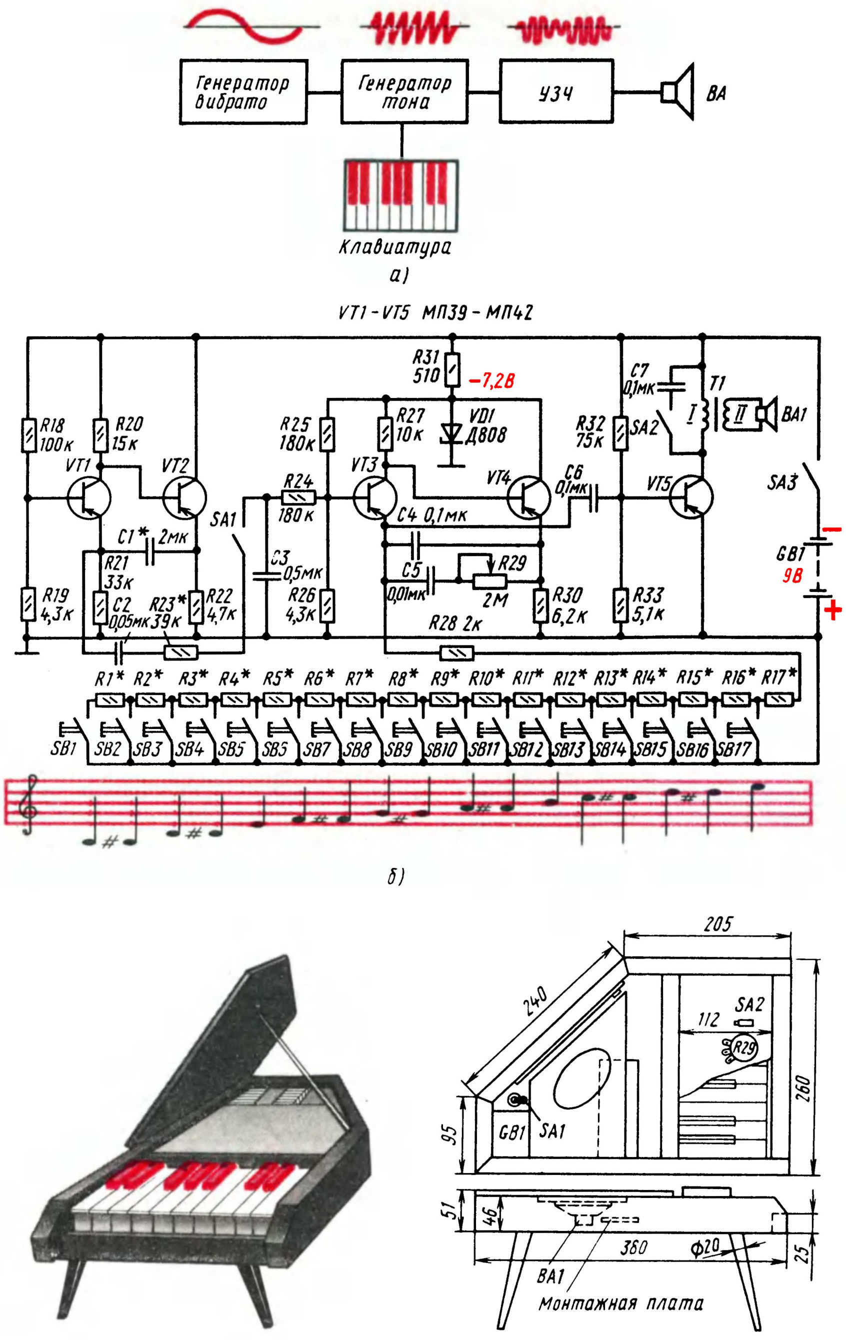

Генератор вибрато
Генератор тона
УЗЧ
ВА
Клавиатура
а)
VT1-VT5 МП39-МП42
R18 100к
R20 15к
R19 4,3к
R21 33к
R22 4,7к
R23* 39к
C1* 2мк
C2 0,05мк
VT1
VT2
SA1
R24 180к
R25 180к
R26 4,3к
C3 0,5мк
R27 10к
R31 510
−7,2В
VD1 Д808
VT3
VT4
C4 0,1мк
C5 0,01мк
R29 2М
R28 2к
R30 6,2к
C6 0,1мк
R32 75к
R33 5,1к
SA2
C7 0,1мк
T1
I
II
BA1
VT5
SA3
GB1 9В
R1* R2* R3* R4* R5* R6* R7* R8* R9* R10* R11* R12* R13* R14* R15* R16* R17*
SB1 SB2 SB3 SB4 SB5 SB5 SB7 SB8 SB9 SB10 SB11 SB12 SB13 SB14 SB15 SB16 SB17
б)
205
240
112
SA2
R29
260
95
GB1
SA1
51
46
360
Φ20
25
BA1
Монтажная плата
в)

Рис. 367. Структурная (*а*), принципиальная (*б*) схемы и конструкция (*в*) электронного рояля

зависимости от напряжения стабилизации используемого стабилитрона), а избыточное напряжение батареи GB1 гасит резистор R31.

В генераторе вибрато работают транзисторы VT1 и VT2. Как и генератор тона, а их схемы принципиально одинаковы, он также представляет собой несимметричный мультивибратор, но генерирует колебания частотой 5...7 Гц, определяемой конденсатором C1 и резистором R21. Колебания генератора вибрато через корректирующую цепь C2R23, выключатель SA1 и фильтр R24C3 подаются к генератору тона и модулируют его колебания. Генератор вибрато может быть отключен от генератора тона выключателем SA1. В этом случае звуки инструмента будут однотонными, не вибрирующими.

Усилитель ЗЧ инструмента однокаскадный, на транзисторе VT5. Его выходная мощность небольшая — всего 40...50 мВт. Но ее вполне достаточно для громкого звучания головки 1ГД-18 или подобной ей 1ГД-28. Тембр звука можно изменять при подключении конденсатора C7 тумблером SA2 параллельно первичной обмотке выходного трансформатора T1.

Инструмент питается от батареи напряжением 9 В. Для более продолжительной работы ее целесообразно составить из двух батарей 3336, обладающих значительно большей емкостью, чем «Крона» или аккумуляторная батарея 7Д-0,1.

Возможная конструкция инструмента показана на рис. 367, *в*. Корпус можно сделать из сухих прямослойных дощечек и фанеры, оргалита. В передней части корпуса размещена клавиатура, внутри — монтажная плата, головка BA1 с акустической доской, обтянутой декоративной тканью, и батарея питания. Рядом с батареей — тумблер SA1 подключения генератора вибрато к генератору тона. Переменный резистор R29 общей подстройки фиксированных частот генератора тона и тумблер SA2 изменения тембра звука инструмента размещены на дне корпуса, под клавиатурой. Резисторы частотозадающей цепи припаяны непосредственно к контактным группам клавиатуры.

Крышка корпуса откидная. При поднятии стойки, удерживающей крышку, замыкаются контакты выключателя питания SA3. Устройство этого выключателя показано на рис. 368. Его контактами служат пружинные контакты от электромагнитных реле. При поднятии стойка, поворачиваясь вокруг винта 2 на угол 90°, выступом 3 на ее коротком конце надавливает на контакты 4 и замыкает их. Поднятая стойка длинным концом 1 упирается в углубление в откидной крышке инструмента. Зазор между разомкнутыми контактами выключателя регулируют медной пластинкой 5, имеющейся между контактными пружинами.

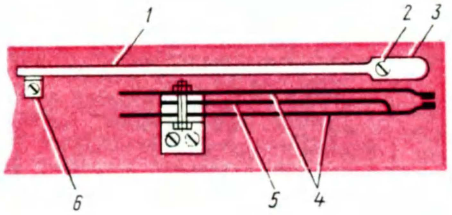


Рис. 368. Устройство выключателя питания:
1 — стойка; *2* — винт опоры стойки; *3* — выступ стойки; *4* — контактные пружины; *5* — регулировочная пластинка, *6* — опорная скоба стойки

Конструкция клавиатуры может быть произвольной. Однако желательно, чтобы размеры клавиш соответствовали стандартным, например клавиатуре аккордеона. Свободный ход белых клавиш должен составлять 8 мм, ход черных клавиш 6 мм, зазор между клавишами должен быть 0,8...1 мм. Клавиатура рояля, о котором я здесь рассказываю, изготовлена из электротехнического картона толщиной 1...1,5 мм (рис. 369). Можно также использовать для клавиатуры склеенный в два-три слоя более тонкий глянцевый картон (некоторые папки для бумаг). Прорези в картоне, образующие клавиши, делай остро заточенным ножом по металлической линейке. Чтобы клавишам придать жесткость, приклей снизу клеем «Момент», БФ-2 вырезанные по ним фанерные пластинки.

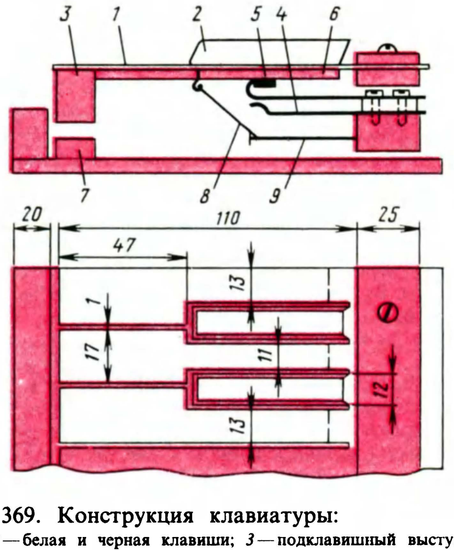


Рис. 369. Конструкция клавиатуры:
1 и *2* — белая и черная клавиши; *3* — подклавишный выступ, *4* — контактные пружины; *5* — прокладка (замша, сукно), *6* — фанерная пластинка; *7* — подклавишная прокладка; *8* — шнурок; *9* — гвоздь

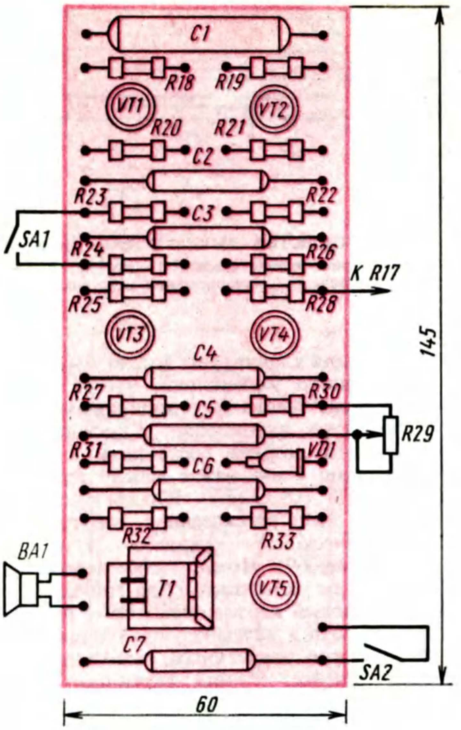


Рис. 370. Монтажная плата

Суши их под грузом, например под утюгом, нагретым до температуры 40...50° С. А чтобы детали не приклеились к утюгу, проложи между ними два-три слоя писчей бумаги. Готовые клавиши окрась черной и белой нитроэмалью.

Для удержания клавиш на одном уровне к каждой из них прикрепи снизу шнурок, натяжение которого будешь регулировать отгибанием гвоздя, вбитого в общую рейку всей клавиатуры. Контактные пружины клавиатуры должны быть отрегулированы так, чтобы усилие, необходимое для нажатия клавиш, было одинаковым для всех клавиш, т. е., как говорят, чтобы не было «тугих» и «слабых» клавиш. Для бесшумной работы клавиатуры в местах соприкосновения нижних выступов белых клавиш приклей полоски из бархата (или сукна), а на фанерные пластинки в местах соприкосновения подвижных контактов — полоски из замши (или сукна).

Детали электронной части инструмента монтируй на плате из листового гетинакса или стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм. Примерное размещение деталей на плате показано на рис. 370. Сам же монтаж может быть как печатным, так и проволочным. После настройки инструмента монтажную плату укрепи с помощью стоек на дне корпуса или акустической доске динамической головки. Для соединения монтажной платы с другими деталями инструмента используй любые монтажные провода с надежным изоляционным покрытием.

Настройка инструмента заключается в точном подборе сопротивлений резисторов R1 — R17 частотозадающей цепи. Генератор вибрато на это время должен быть отключен от генератора тона.

Сначала подбери резистор R17. Вместо него временно включи переменный резистор на 5...10 кОм, а между его движком и контактами клавиши SB17 — постоянный резистор сопротивлением 1...1,5 кОм. Изменяя сопротивление переменного резистора, установи на слух по образцовому музыкальному инструменту (рояль, пианино, аккордеон) частоту колебаний задающего генератора, соответствующую звуку «ми» второй октавы. Совпадение частот генератора и музыкального инструмента определяй по отсутствию биений. Затем омметром измерь сопротивление временно включенной цепочки резисторов и вместо них впаяй в частотозадающую цепь постоянный резистор такого же сопротивления. Если такого номинала резистора нет, то необходимое сопротивление составь из двух-трех последовательно или параллельно соединенных резисторов. Точно так же подбирай резистор R16 (клавиша «ре-диез» второй октавы), а затем последовательно резисторы R15 — R1.

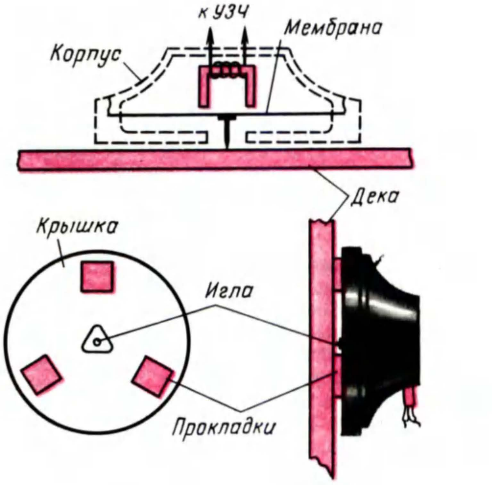


Рис. 371. Телефон в качестве звукоснимателя электрогитары

Затем приступай к настройке генератора вибрато на частоту 5...7 Гц. Это достигается подбором емкости конденсатора С1. Но на колебания такой частоты наш слух не реагирует. Поэтому, чтобы настроить генератор, придется воспользоваться цифровым частотомером, прибегнуть к осциллографу или делать это по вибрации звуков, издаваемых инструментом. Амплитуду выходного напряжения генератора вибрато, от которого зависит глубина вибрации звука, устанавливай подбором резистора R23. Если амплитуду вибрации нужно увеличивать, то сопротивление этого резистора уменьшай, и наоборот. В генераторе вибрато амплитуда вибрации возрастает с высотой звука. Поэтому настройку его по амплитуде следует производить при нажатии верхних клавиш инструмента.

Многоголосные ЭМИ не входят в содержание нашей беседы. А если они тебя заинтересуют, то придется обратиться к соответствующей литературе.

ЭЛЕКТРОГИТАРА

К числу электромузыкальных относятся и так называемые адамптеризованные музыкальные инструменты.

Слушая выступления эстрадного оркестра, ты, вероятно, обращал внимание на то, что звуки гитары, например, идут не от нее, а от установленного неподалеку громкоговорителя. Это и есть адаптеризованная гитара. Адаптеризованными могут быть любые другие струнные или клавишные музыкальные инструменты. Но гитара дает наилучший звуковой эффект.

Адаптер — это звукосниматель, электрический датчик. С его помощью звуковые колебания струн или резонатора инструмента преобразуются в электрические колебания той же частоты и после усиления преобразуются головкой громкоговорителя в звуковые колебания воздуха. Адаптеризация не только повышает громкость музыкальных инструментов, но и придает их звучанию новые музыкальные оттенки.

Простейшим датчиком гитары может быть, например, электромагнитная система одного из излучателей головного телефона типа ТОН-1 или ТОН-2, если его мембрану скрепить с резонирующей декой гитары (рис. 371). Колеблясь вместе с декой, мембрана изменяет состояние поля постоянного магнита, что возбуждает в катушке электромагнитной системы телефона переменное напряжение звуковой частоты, которое может быть усилено до необходимой мощности и преобразовано в звук головкой громкоговорителя.

Проверь работу такого звукоснимателя на гитаре. В крышке телефона между отверстиями в ней для прохода звуковых волн сделай лобзиком пропилы, а края получившегося треугольного отверстия выровняй надфилем. К наружной стороне крышки клеем БФ-2 или нитролаком приклей три фетровые или суконные прокладки толщиной 2...3 мм. Эти прокладки будут выполнять роль амортизаторов между декой гитары и корпусом телефона. А чтобы они имели возможно гладкие поверхности, плотно прилегающие к деке инструмента, суши их после нанесения клея под теплым утюгом.

Теперь точно в центре мембраны телефона припаяй иглу — отрезок проволоки толщиной 1...1,5 мм и такой длины, чтобы его внешний заостренный конец выступал над поверхностью прокладок-амортизаторов на 3...4 мм. Делай это осторожно, чтобы не деформировать мембрану. Готовый звукосниматель прикрепи к деке гитары липкой бумагой или изоляционной лентой с таким расчетом, чтобы острие иглы лишь слегка упиралось в деку. При этом мембрана ни в коем случае не должна сильно прогибаться. Иначе она станет касаться полюсных наконечников магнита и звук будет искаженным.

Звукосниматель соединяй со входом усилителя ЗЧ экранированным проводом, а его экран — с общим «заземленным» проводником усилителя. Во время игры на гитаре попробуй звукосниматель перемещать по поверхности деки, чтобы найти такое место, где звучание музыки будет наиболее приятным.

Существенный недостаток такого электромагнитного датчика заключается в том, что он преобразует в электрический сигнал колебания не самих струн, а резонирующей деки. Стоит случайно задеть или слегка ударить по деке, и звукосниматель преобразует создающиеся при этом колебания деки в электрический сигнал-помеху. Этого недостатка нет в электромузыкальных инструментах, у которых на звукосниматель воздействуют непосредственно колебания струны.

Схему и возможную конструкцию одного из таких датчиков-звукоснимателей ты видишь на рис. 372, *а*. Возле полюсов постоянного магнита, на котором намотана катушка, расположена стальная струна. Подчеркиваю: стальная, т. е. ферромагнитная, ибо она должна сгущать силовые линии поля магнита между его полюсами. Колебания струны изменяют состояние магнитного поля датчика, в результате чего в его катушке индуцируется ЭДС звуковой частоты. Если возле полюсов магнита колеблются все струны гитары, то все они будут наводить в катушке электрические сигналы звуковой частоты.

Электромагнитная система такого звукоснимателя состоит из Г-образного основания 1 и намагниченного сердечника 2 прямоуголь-

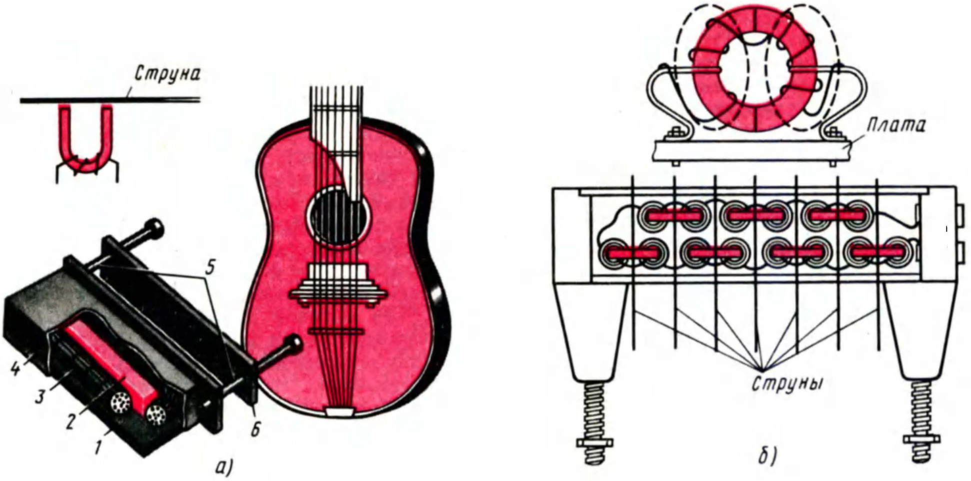


Рис. 372. Электромагнитный (*а*) и ферритовый (*б*) звукосниматели

ного сечения с насаженной на него катушкой 3. Сердечник и основание образуют U-образный магнит с полюсами на обращенных кверху гранях. Звукосниматель, закрытый кожухом 4, с помощью винтов 5 и планки 6 крепят под струнами гитары на их нижней подставке. Через выводные контакты катушки электромагнитной системы датчик соединяют с входом усилителя ЗЧ экранированным проводом. Размеры звукоснимателя, его деталей я не указываю, так как они зависят от конкретной конструкции гитары. Важно лишь, чтобы длина сердечника магнитной системы датчика была не меньше расстояния между крайними струнами гитары, а верхние грани магнита находились на расстоянии 3...4 мм от струн.

Для основания и крепежной планки 6 используй мягкую листовую сталь толщиной 2...2,5 мм. Сердечник представляет собой брусок из магнитного сплава или твердой углеродистой стали. Его можно изготовить из куска плоского напильника, особо тщательно обрабатывая нижнюю грань, которой он должен плотно прилегать к основанию. Приклей сердечник к основанию клеем БФ-2, а затем намагнить его, поместив внутрь катушки, через которую идет постоянный ток.

Катушка электромагнитной системы датчика должна содержать примерно 3000 витков провода ПЭВ-1 0,08...0,1. Ее надо намотать на подходящей болванке со съемными щечками, обмотать лентой из лакоткани или эластичной изоляционной лентой и плотно насадить на сердечник. Для соединения катушки с выходными зажимами (или гнездами) звукоснимателя используй тонкий многожильный монтажный провод. Картонный или сделанный из тонкой пластмассы кожух оклей изнутри медной или латунной фольгой. Она будет электростатическим экраном катушки, соедини ее с основанием датчика.

Звукосниматель готов. Укрепи его на гитаре и испытай в работе.

Можешь испытать еще одну конструкцию электромагнитного звукоснимателя, в котором роль магнитов выполняют намагниченные струны гитары (рис. 372, *б*). Для такого звукоснимателя потребуются семь (по числу струн) колец из феррита марки 1000НН с наружным диаметром 10 и внутренним 6 мм. Кольца аккуратно разломи на половинки. Закрепи на них проволочные выводы, а затем на полукольца намотай до заполнения провод марки ПЭВ-1. Склей клеем БФ-2, а намотанные на них катушки соедини последовательно. У тебя получается звукоснимающие головки. Для катушек головок первой и второй струн гитары надо использовать провод ПЭВ-1 0,12, для головок остальных струн ПЭВ-1 0,1.

Головки смонтируй на штырьках или пустотелых заклепках, запрессованных в гетинаксовую плату, располагая головки так, как показано на рис. 372, *б*. Обмотки всех головок соедини последовательно. К гетинаксовому основанию приклей два боковых бруска из органического стекла и две боковые щечки, вырезанные из любого изоляционного материала. В отверстия в торцах боковых брусков вверни шпильки, с помощью которых звукосниматель будешь крепить к стойке струн гитары. Выводами звукоснимателя могут быть штепсельные гнезда, запрессованные в один из боковых брусков, или зажимы.

Крепить звукосниматель на гитаре надо с таким расчетом, чтобы он был удален от задней стойки струн на 30 мм (средней продольной линии), а зазоры ферритовых головок — на 1,5...2 мм от струн.

Прежде чем играть на такой электрогитаре, участки ее струн против зазоров ферритовых головок надо намагнитить, поднося магнит к каждой струне на расстояние 1,5...2 мм. При этом полюса магнита должны чередоваться от струны к струне. Колеблясь над рабочими зазорами ферритовых головок, намагниченные струны возбуждают в их обмотках электрические колебания звуковой частоты, которые и подаются на вход усилителя ЗЧ.

Свободное пространство между боковыми брусками и щечками хорошо залить смолой, а еще лучше — эпоксидным клеем. Это защитит головки от возможных механических повреждений и придаст звукоснимателю прочность.

Остается ответить на вопрос, который ты, вероятно, давно хотел задать: какой усилитель можно использовать для электрогитары. Любой усилитель ЗЧ со входом, рассчитанным на подключение к нему звукоснимателя для воспроизведения грамзаписи с выходной мощностью не менее 1 Вт. Если, однако, усиление окажется недостаточным для громкого звучания, придется добавить каскад предварительного усиления напряжения звуковой частоты, включив его транзистор по схеме ОЭ. Полагаю, что с этой задачей ты справишься самостоятельно.

Теперь...

О ЦВЕТОМУЗЫКЕ

Суть этого цветового эффекта, сопровождающего музыку, иллюстрирует схема, показанная на рис. 373. Ко входу усилителя ЗЧ подключен звукосниматель BS. С выхода усилителя сигнал звуковой частоты подается на головку громкоговорителя BA и одновременно к фильтрам высших (ФВЧ), средних (ФСЧ) и низших (ФНЧ) частот. Каждый фильтр настроен на сравнительно узкую полосу частот и пропускает через себя в основном только колебания этого участка звукового диапазона. Фильтр высших частот пропускает к лампе HL1 колебания частотой выше 2 кГц, ФСЧ к лампе HL2 — колебания частотой примерно от 200 Гц до 3 кГц, а ФНЧ к лампе HL3 — колебания частотой до 300 Гц. При этом лампы, накаливаясь в такт с силой электрического сигнала, светятся с переменной яркостью и освещают полупрозрачный экран.

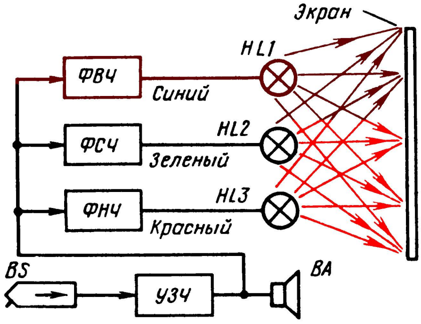


Рис. 373. Схема, иллюстрирующая сущность цветомузыки

Баллон лампы HL1 канала высших частот — синий (или голубой), лампы HL2 канала средних частот — зеленый, лампы HL3 канала низших частот — красный. Это три основных цвета, которые, смешиваясь, могут составить другие цвета радуги. На экране, следовательно, создается картина игры цветов разной окраски и интенсивности, дополняющая восприятие музыки.

Предлагаю для начала смонтировать простую цветомузыкальную приставку с небольшим экраном к имеющемуся у тебя усилителю ЗЧ.

ЦВЕТОМУЗЫКАЛЬНАЯ ПРИСТАВКА

Схема возможного варианта такой приставки изображена на рис. 374, *а*. Со звуковой катушки динамической головки BA усилителя ЗЧ, например транзисторного электрофона, о котором я рассказывал ранее (см. схему на рис. 202), сигнал звуковой частоты подается на базы транзисторов VT1 — VT3 через соответствующие им частотные фильтры. Роль фильтра канала высших частот выполняет конденсатор C1: он хорошо пропускает колебания наиболее высоких частот и оказывает значительное сопротивление колебаниям средних и низших частот. Дроссель L1 и конденсатор C2 образуют фильтр средних частот. Фукнцию фильтра низших частот выполняет дроссель L2, индуктивное сопротивление которого для средних и высших частот большое, а для низших — малое. В коллекторные цепи транзисторов включены лампы накаливания HL1 — HL3, цвета баллонов которых соответствуют принятому частотному делению колебаний звукового диапазона.

Исходное состояние транзисторов — закрытое. В это время токи коллекторных цепей

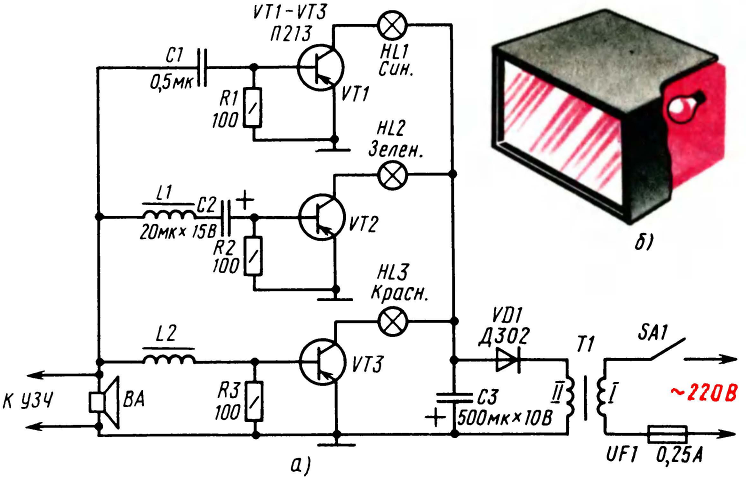


Рис. 374. Принципиальная схема цветомузыкальной приставки (*а*) и возможная конструкция ее светорассеивающего экрана (*б*)

транзисторов ничтожно малы и лампы, включенные в эти цепи, не светятся. Но вот заиграла музыка. В это время отрицательные полуволны сигналов, прошедших через фильтры, открывают транзисторы, в их коллекторных цепях появляются токи и лампы начинают светиться. Чем сильнее электрические сигналы, тем больше открываются транзисторы и ярче светятся лампы. Если преобладают звуки низких тонов, то ярче других светится лампа красного цвета, а если высоких и средних, то синего и зеленого цветов. В результате на экране, освещающемся лампами, создаются различные цветовые гаммы.

Чтобы изменяющиеся токи транзисторов не влияли на работу усилителя, являющегося источником сигналов звуковой частоты, приставка питается от самостоятельного однополупериодного выпрямителя на диоде VD1. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются оксидным конденсатором C3 большей емкости.

Транзисторы приставки могут быть как низкочастотными, так и высокочастотными, но обязательно средней или большой мощности, например П213, П214, ГТ403, П601. Лампы накаливания — МН3,5-0,26. При наиболее громких звуках суммарный ток ламп приставки может достигать 0,7...0,8 А. Поэтому в выпрямителе блока питания должен работать диод, рассчитанный на выпрямленный ток около 1 А. Если не окажется такого диода, в выпрямитель можно включить четыре диода серии Д226 или Д7, соединив их по мостовой схеме.

В качестве сетевого трансформатора T1 можно использовать выходной трансформатор кадровой развертки телевизора ТВК-110 или ТВК-90, как это было в электрофоне, или любой другой трансформатор, понижающий напряжение сети до 5...6 В. Напряжение на выходе выпрямителя должно быть не менее 7...8 В.

Дроссель L1 фильтра канала средних частот намотай на двух сложенных вместе ферритовых кольцах 600НН с внешним диаметром 7 мм, а дроссель L2 канала низших частот — на трех сложенных вместе таких же кольцах. На каждый из сердечников надо намотать по 200 витков провода ПЭЛШО или ПЭВ-1 0,1.

Конструкция экрана с освещающими его лампами может быть такой, как на рис. 374, *б*. Лампы, баллоны которых окрашены цветными лаками, размещены на задней стенке ящика, оклеенного с внутренней стороны алюминиевой фольгой. Фольга (или жесть) выполняет роль рефлектора. Экраном, являющимся передней стенкой ящика, служит молочное стекло размерами не более 13 × 18 см. Расстояние между экраном и лампами может быть 12...15 см. От ламп идут провода к соответствующим им транзисторам, смонтированным вместе с фильтрами и блоком питания в другом ящике.

Экраном может также служить прозрачное органическое стекло, предварительно обработанное тепловым методом. Для этого пластинку органического стекла нужного размера надо нагреть над пламенем газовой горелки или костра, но осторожно, чтобы органическое стекло не воспламенилось, а затем остудить его, зажав между плоскими массивными предметами. При такой обработке органического стекла в его толще образуются газовые пузырьки, хорошо рассеивающие свет.

Советую смонтировать детали приставки на макетной панели, испытать ее в работе и только после этого решать вопрос о ее конструкции.

Какие дополнения можно внести в цветомузыкальную приставку? В коллекторные цепи транзисторов можно включить не по одной, а по две-три соединенные параллельно лампы. Но тогда в выпрямителе надо будет использовать диод на ток 3...5 А, например Д242А, а транзисторы, чтобы не перегревались, установить на теплоотводящие радиаторы.

Между базами и коллекторами транзисторов можно включить переменные резисторы сопротивлением по 2...3 кОм, которые совместно с постоянными резисторами R1 — R3 образуют делители напряжений, открывающие транзисторы. При налаживании приставки введенные сопротивления переменных резисторов подбери такими, чтобы нити накала ламп чуть светились. Этими же резисторами можно также регулировать яркость свечения ламп любого из каналов цветности.

СВЕТОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Более сложную и технически более интересную установку для автоматического воспроизведения цветового сопровождения музыкальной программы можно построить по структурной схеме, приведенной на рис. 375. В такой установке, предложенной Р. Абзалетдиновым из г. Москвы, четыре частотных канала, каждый из которых настроен на среднюю частоту соответствующего ему участка звуковых диапазонов: высших-средних — на частоту 7500, средних — на частоту 1500, средних-низких — на частоту 300, низших — на частоту 90 Гц. Первому их этих частотных каналов условно присвоен синий цвет, второму — зеленый, третьему — желтый, четвертому — красный.

Электрический сигнал музыкальной программы, снимаемый с линейного выхода магнитофона, электропроигрывателя или другого звуковоспроизводящего устройства, подают на вход предварительного усилителя A1 светодинамической установки, а с его выхода — на входы активных полосовых RC-фильтров A2 — A5, разделяющих всю полосу частот музыкальной программы на четыре основных участка-канала. Далее следуют амплитудные детекторы VD1 — VD4, выпрямляющие переменные напряжения звуковых частот, выделенные RC-фильтрами.

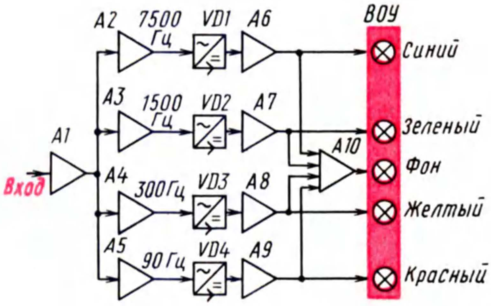


Рис. 375. Структурная схема светодинамической установки

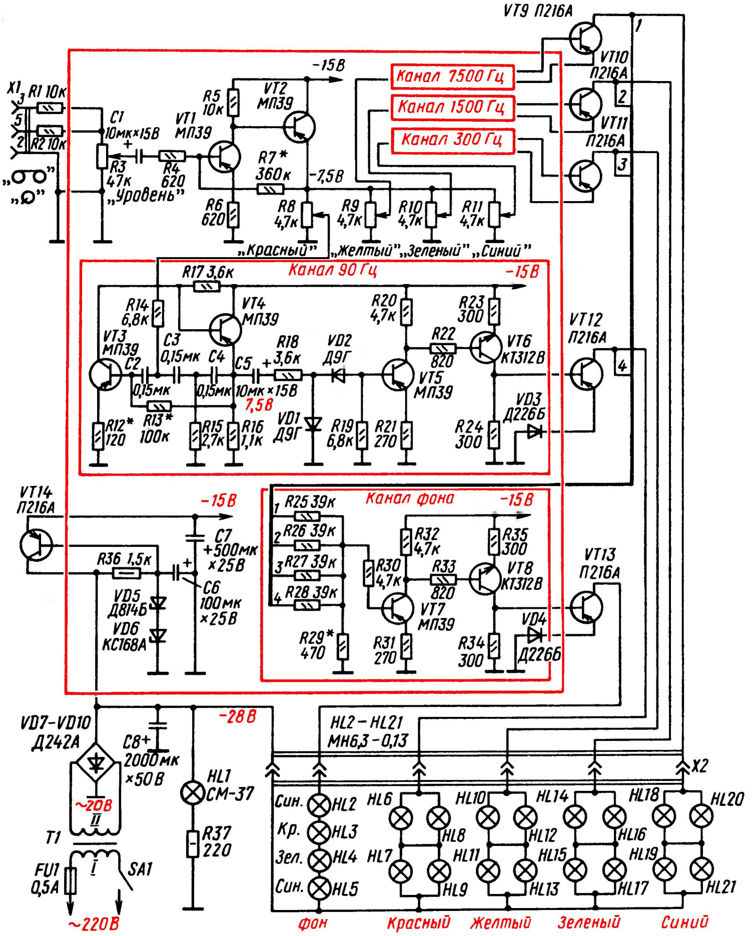
Постоянные составляющие продетектированных сигналов усиливаются до необходимой мощности усилителями постоянного тока A6 — A9. К их выходам подключены группы ламп накаливания, окрашенные в цвета, соответствующие частотным каналам, которые образуют выходное оптическое устройство (ВОУ) установки.

Одновременно сигналы с выходов усилителей A6 — A9 подаются и на вход усилителя постоянного тока A10, нагруженного на группу ламп накаливания, суммарная мощность которых меньше мощности ламп любого канала цвета. Это пятый, вспомогательный канал установки — канал фона. Лампы этого канала светятся, при этом не очень ярко, только тогда, когда на входе установки нет сигнала музыкальной программы.

Принципиальная схема светодинамической установки показана на рис. 376. Сигнал с линейного выхода магнитофона подается на гнезда 3 и 2 разъема X1, а от пьезокерамического звукоснимателя — на гнезда 5 и 2 (нумерация гнезд соответствует общепринятой для пятиконтактной розетки СГ-5). Переменный резистор R3 — регулятор уровня входного сигнала. С его движка сигнал через конденсатор C1 и резистор R4 поступает на вход двухкаскадного предварительного усилителя на транзисторах VT1 и VT2. Транзистор VT2 включен эмиттерным повторителем, что обеспечивает оптимальные условия работы активных полосовых RC-фильтров, стоящих за предварительным усилителем входного сигнала. Монофонический сигнал можно подавать непосредственно на переменный резистор R3, минуя развязывающие резисторы R1 и R2 (или совсем исключив их), при этом чувствительность усилителя к слабым сигналам несколько повысится.

Переменные резисторы R8 — R11, соединенные между собой параллельно и являющиеся нагрузкой транзистора VT2, выполняют функцию регуляторов уровня сигналов в каждом из каналов цвета. С их движков усиленный сигнал поступает к соответствующим полосовым фильтрам.

Основные каналы светодинамической установки различаются только номиналами некоторых конденсаторов и резисторов, входящих



VT9 П216А
VT10 П216А
VT11 П216А
VT12 П216А
VT13 П216А
VT14 П216А
Канал 7500 Гц
Канал 1500 Гц
Канал 300 Гц
Канал 90 Гц
Канал фона
-15В
-7,5В
7,5В
-28В
X1
R1 10к
R2 10к
C1 10мк×15В
R3 47к „Уровень"
R4 620
VT1 МП39
VT2 МП39
R5 10к
R6 620
R7* 360к
R8 4,7к
R9 4,7к
R10 4,7к
R11 4,7к
„Красный" „Желтый" „Зеленый" „Синий"
R17 3,6к
R14 6,8к
VT3 МП39
VT4 МП39
C2 0,15мк
C3 0,15мк
C4 0,15мк
C5 10мк×15В
R12* 120
R13* 100к
R15 2,7к
R16 1,1к
R18 3,6к
VD1 Д9Г
VD2 Д9Г
R19 6,8к
R20 4,7к
R21 270
R22 820
R23 300
R24 300
VT5 МП39
VT6 КТ312В
VD3 Д226Б
R36 1,5к
C7 +500мк ×25В
C6 100мк ×25В
VD5 Д814Б
VD6 КС168А
R25 39к
R26 39к
R27 39к
R28 39к
R29* 470
R30 4,7к
R31 270
R32 4,7к
R33 820
R34 300
R35 300
VT7 МП39
VT8 КТ312В
VD4 Д226Б
VD7-VD10 Д242А
C8 2000мк ×50В
~20В
T1
FU1 0,5А
SA1
~220В
HL1 СМ-37
R37 220
HL2-HL21 МН6,3-0,13
X2
Син. Кр. Зел. Син.
HL2 HL3 HL4 HL5 HL6 HL7 HL8 HL9 HL10 HL11 HL12 HL13 HL14 HL15 HL16 HL17 HL18 HL19 HL20 HL21
Фон Красный Желтый Зеленый Синий

Рис. 376. Принципиальная схема светодинамической установки

в цепи активных фильтров. Поэтому расскажу о работе лишь одного из них — канала низших частот, настроенного на среднюю частоту около 90 Гц.

Активный полосовой RC-фильтр этого канала представляет собой двухкаскадный усилитель на транзисторах VT3 и VT4, охваченный частотно-зависимой обратной связью по переменному току, напряжение которой с эмиттера транзистора VT4 подается через резистор R13 в цепь базы транзистора VT3. Коэффициент усиления каскада на транзисторе VT3 устанавливают подбором эмиттерного резистора R12 с таким расчетом, чтобы фильтр работал на грани возбуждения. При этом полоса частот, пропускаемая фильтром, сужается, а подъем амплитудно-частотной характеристики фильтра на резонансной частоте достигает восьмидесятикратного увеличения.

С резистора R16, являющегося выходным элементом фильтра, сигнал через конденсатор C5 и резистор R18 подается к амплитудному детектору, диоды VD1 и VD2 которого включены по схеме умножения выходного напряжения.

В трехкаскадном усилителе постоянного тока работают транзисторы VT5, VT6 и VT12 разных структур, включенные по схеме ОЭ. Связь между ними непосредственная: база транзистора VT12 соединена с коллектором транзистора VT6, а база его — с коллектором транзистора VT5 первого каскада. Пока сигнала на входе установки нет, все транзисторы усилителя закрыты и группа ламп HL6 — HL9 в коллекторной цепи выходного транзистора VT12 не горит. С появлением сигнала в этом канале транзистор VT5, а за ним и транзисторы VT6 и VT12 открываются, и тем больше, чем больше управляющее отрицательное напряжение на выходе детектора, а значит, и на базе транзистора VT5. Начинает, следовательно, светиться группа ламп этого канала цвета. Кремниевый диод VD3 в эмиттерной цепи транзистора VT12 термостабилизирует режим работы выходного каскада.

Аналогично работают и три других основных канала цвета, изображенные на схеме условными прямоугольниками с цифрами частоты настройки. Предполагается, что данные всех деталей их каналов, кроме номиналов конденсаторов C2 — C4 и резисторов R14 и R15, определяющих среднюю частоту настройки полосовых фильтров, такие же, как данные деталей канала 90 Гц. Номиналы этих конденсаторов и резисторов частотозадающих цепей фильтров, а также ориентировочные сопротивления резисторов R12 в каждом из четырех каналов цвета указаны в приведенной здесь таблице.

Таблица

Частота настройки канала, Гц	C2, C3, C4, мкФ	R12, Ом	R14, кОм	R15, кОм
90	0,15	120	6,8	2,7
300	0,033	100	6,8	2,4
1500	0,01	91	6,8	2,0
7500	0,0043	68	4,7	1,5

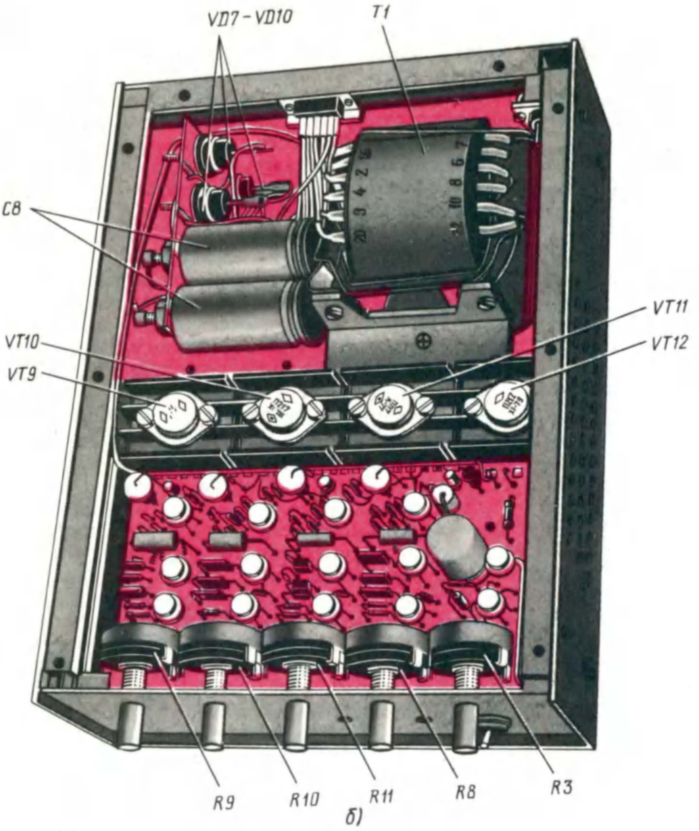
Аналогичным образом работает и усилитель постоянного тока канала фона, выполненный на транзисторах VT7, VT8, и VT13. Управляющие им отрицательные напряжения снимаются с коллекторов транзисторов VT9—VT12 и через развязывающие резисторы R25—R28 и делитель R29, R30 подаются в цепь базы транзистора VT7. При отсутствии сигнала на входе цветодинамической установки напряжения на коллекторах транзисторов VT9 — VT12 близки к напряжению источника питания, а отрицательное напряжение на базе транзистора VT7 оказывается достаточным для поддержания его, а значит, и транзисторов VT8, VT13 в открытом состоянии. В это время группа ламп HL2—HL5 канала фона горит. Появление сигнала хотя бы в одном из каналов цвета приводит к уменьшению отрицательного напряжения на базе транзистора VT7, в результате чего он, а вместе с ним и транзисторы VT8, VT13 частично закрываются и яркость свечения ламп этого канала уменьшается. При появлении же сигнала во всех каналах цвета отрицательные напряжения на коллекторах транзисторов всех выходных каскадов усилителей тока уменьшаются почти до нуля, транзисторы усилителя тока канала фона закрываются полностью и его лампы гаснут.

Светодинамическая установка питается от сети переменного тока напряжением 220 В через понижающий трансформатор T1 и двухполупериодный выпрямитель на диодах VD7—VD10, включенных по мостовой схеме. На коллекторы мощных транзисторов VT9 — VT13 выходных каскадов усилителей тока напряжение питания (−28 В) подается с фильтрующего конденсатора C8 через соответствующие им группы ламп выходного оптического устройства, а на все другие транзисторы — с выхода стабилизатора напряжения (−15 В), образованного последовательно соединенными стабилитронами VD5, VD6 и транзистором VT14. Лампа HL1 — индикатор включения питания.

Вот, пожалуй, то основное, что надо знать для осмысленного подхода к конструированию такого цветомузыкального устройства.

Цветодинамическая установка с выходным оптическим устройством в том виде, в каком они выполнены автором конструкции, показана на рис. 377, *а*, а монтаж деталей и узлов в корпусе — на рис. 377, *б*. Корпус, размеры которого зависят от габаритов имеющихся деталей, сделан из пластин листового дюралюминия, скрепленных в единую конструкцию с помощью уголков и винтов. Боковые, нижняя и верхняя стенки корпуса имеют вентиляционные отверстия, снизу привернуты резиновые ножки. На лицевой панели справа — входной резистор R3, под ним — выключатель питания SA1. Слева от него расположены регуляторы уровня сигналов в каналах цвета (R8 — R11). Под крайним левым регулятором виднеется «глазок» индикатора включения сети.

Большая часть деталей установки смонтирована на печатной плате размерами 160 × 85 мм (рис. 378), выполненной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Монтаж, конечно, может быть навесным, если в твоем распоряжении не окажется фольгированного материала, но размещение деталей на плате надо сохранить таким же. Детали канала фона смонтированы на отдельной плате размерами 40 × 35 мм, которая находится в другом небольшом корпусе. Мощные транзисторы VT9 — VT13 выходных каскадов усилителей тока и транзистор VT14 стабилизатора напряжения установлены на ребристых теплоотводящих радиаторах, приобретенных в магазине радиотоваров. Самодельные радиаторы должны иметь эффективную площадь рассеяния не менее 50 см^2.



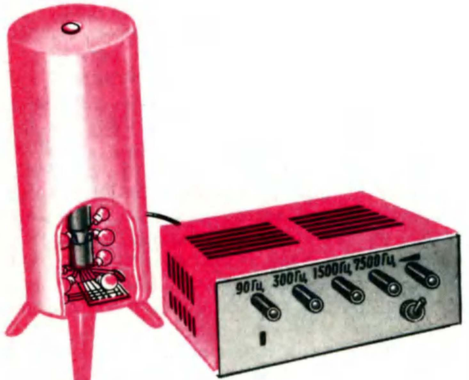


Рис. 377. Светодинамическая установка (*а*) и вид на монтаж (*б*) (верхняя стенка снята)

Все постоянные резисторы — любые малогабаритные. Оксидные конденсаторы, кроме конденсаторов C5, типа К50-6 или К50-3Б (конденсатор C8 фильтра выпрямителя составлен из двух конденсаторов емкостью по 500 мкФ). Конденсатор C5 должны быть с возможно малым током утечки; этому требованию отвечают конденсаторы К53-1 или К53-4. Переменные резисторы R8 — R11 — СП-I с функциональной зависимостью вида В или в крайнем случае А.

Маломощные низкочастотные p-n-p транзисторы могут быть серий МП39 — МП42 со статическим коэффициентом передачи тока не менее 50 (VT1, VT3) и 30 (VT2, VT4, VT5, VT7). Тот из транзисторов, коэффициент $h_{21\text{э}}$ которого больше, устанавливай в активном фильтре канала, настраиваемого на частоту 7500 Гц. Предоконечные транзисторы каналов обязательно должны быть кремниевыми с минимальными обратным током коллекторного перехода. Подойдут транзисторы серий КТ312, КТ315 с любым буквенным индексом. Мощные транзисторы VT9 — VT14 могут быть серий П213 — П217 с любым буквенным индексом.

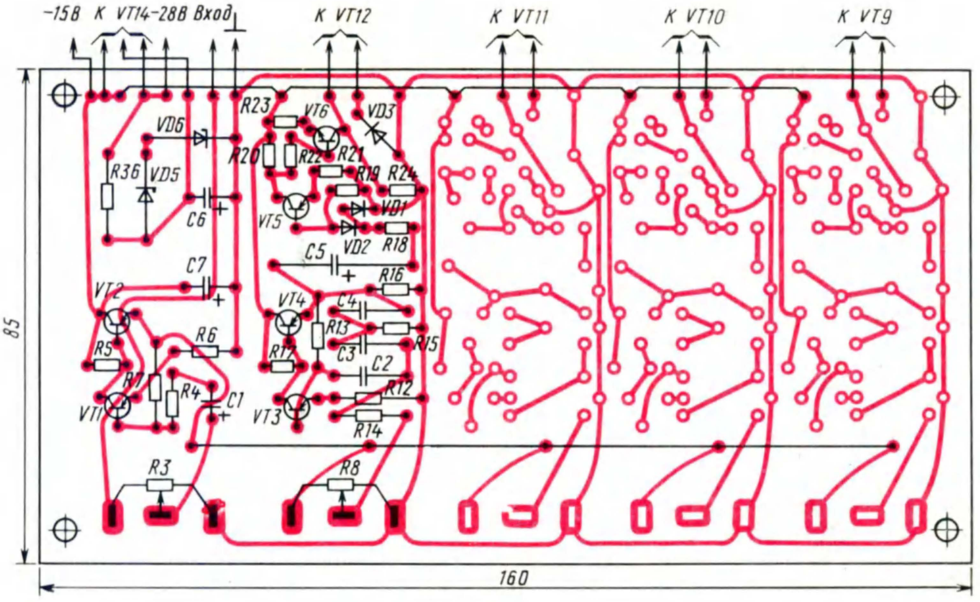


Рис. 378. Печатная плата и размещение деталей на ней

Стабилитроны Д814Б и КС168А (VD5, VD6) можно заменить двумя другими стабилитронами, суммарное напряжение стабилизации которых будет 14...17 В. Диоды VD3, VD4 в эмиттерных цепях транзисторов выходных каскадов каналов могут быть любыми из серий Д226, КД203.

Трансформатор Т1, использованный в блоке питания описываемой цветодинамической установки, унифицированный ТПП267 127/220-50. Но он может быть самодельным, обеспечивающим ток нагрузки 1,5...2 А при напряжении на вторичной обмотке не менее 18 В. Иначе яркость свечения ламп выходного оптического устройства будет зависеть не от уровня входного сигнала, а от числа каналов, включенных в данный момент, и пропадет динамичность цветового сопровождения музыкальной программы. Чем бо́льший ток может обеспечить трансформатор блока питания, тем более мощные лампы накаливания можно применять в выходном оптическом устройстве.

Для самодельного трансформатора подойдет магнитопровод, площадь сечения сердечника которого составляет 8...10 см². Его первичную обмотку можно намотать проводом ПЭВ-1 0,24...0,3, вторичную — проводом ПЭВ-1 1,0...1,2. С расчетом числа витков в каждой из обмоток ты уже знаком.

Основой выходного оптического устройства установки (см. рис. 377, *а*) служит дюралюминиевая трубка диаметром 10 и длиной 300 мм, укрепленная на подставке из толстого цветного органического стекла. К трубке липкой лентой прикреплены провода в поливинилхлоридной изоляции, к оголенным концам которых припаяны группы ламп накаливания МН6,3-0,13 (на напряжение 6,3 В при токе 0,13 А) каналов цвета и фона. Окрашенные в соответствующие цвета прозрачными лаками, они расположены на трубке ярусами: в нижнем — лампы канала фона, в четырех других ярусах — в произвольном порядке лампы каналов цвета.

Цветорассеивающим экраном служит цилиндрический плафон светильника, изготовленный из гранулированного полистирола, позволяющий с любой стороны наблюдать игру цветов музыкального сопровождения. Такой плафон можно приобрести в магазине электротоваров.

Теперь — о налаживании. Но прежде тщательно проверь весь монтаж по принципиальной схеме установки. После включения питания группы ламп каналов должны кратковременно вспыхнуть, плавно погаснуть и тут же должны загореться лампы канала фона. Если будет именно так, то это свидетельствует об исправной работе усилителей постоянного тока. Может, однако, случиться, что лампы одного из каналов цвета не погаснут. Это будет признаком возбуждения активного полосового фильтра RC этого канала на его резонансной частоте. Для устранения возбуждения надо несколько увеличить сопротивление резистора R12 в эмиттерной цепи транзистора VT3 фильтра.

После этого входной разъем соедини экранированным проводом с линейным выходом магнитофона или электропроигрывателя, проверь действие регуляторов уровней сигнала и оставь устройство включенным минут на 20...30 для установления теплового режима работы. Затем движок переменного резистора R3 установи в положение, при котором уровень входного сигнала будет равен нулю. Теперь причиной свечения ламп какого-либо из каналов цвета может быть проникновение постоянной составляющей с эмиттера транзистора VT4 на вход усилителя постоянного тока этого канала через конденсатор C5, резистор R18 и диод VD2. В таком случае конденсатор C5 надо будет заменить другим, с меньшим током утечки. Другая причина свечения ламп канала цвета — большой обратный ток коллекторного перехода транзистора VT6. Такой транзистор придется заменить аналогичным транзистором с меньшим значением параметра $I_{КБО}$.

Заключительный этап налаживания цветодинамической установки — подбор желаемой яркости свечения ламп канала фона при отсутствии входного сигнала. Делай это подбором резистора R29 в базовой цепи транзистора VT7 первого каскада усилителя постоянного тока.

В процессе эксплуатации цветодинамической установки яркость свечения ламп каналов цвета устанавливай по своему желанию соответствующими им переменными резисторами R8 — R11.

Обязательно ли экран выходного оптического устройства цветодинамической установки должен иметь такую форму? Нет, конечно. Как правило, конструкторы подобных устройств, создающих эффект игры цветов, сами, по своему вкусу придумывают для них цветорассеивающие экраны. Но, пожалуй, чаще все же экраны делают в виде плоских ящиков, которые можно ставить на стол, переносить из одного помещения в другое, подвешивать на стене. Их передними стенками-экранами служат матовые стекла, листы полупрозрачного органического стекла, иногда подкрашенного, за которыми размещают лампы каналов цвета. На одной из боковых стенок может быть и динамическая головка для звукового сопровождения светового эффекта. Порядок размещения ламп за экраном — тоже дело вкуса. Здесь твоим лучшим советчиком может быть эксперимент.

⁂

На этом я заканчиваю беседу, посвященную знакомству с основами электро- и цветомузыки. А некоторые из тех устройств, которые, надеюсь, ты повторил или просто опробовал, помогли закрепить эти сведения на практике.

БЕСЕДА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

ПРИГЛАШЕНИЕ В РАДИОСПОРТ

Ты, надеюсь, на своем личном опыте убедился в том, что радиолюбительство является многоплановым техническим творчеством. Это конструирование радиовещательных приемников и усилителей ЗЧ, измерительных приборов и автоматически действующих устройств, аппаратуры телеуправления, звукозаписи и многого другого, в основе чего лежит радиоэлектроника.

Но в радиолюбительстве есть и особое направление, называемое радиоспортом. Подчеркиваю: спортом. А спорт, как известно, это систематические тренировки, соревнования, победы и неудачи — в спорте все бывает. Но упорство всегда побеждает.

В этой беседе я хочу рассказать тебе о двух видах радиоспорта: об «охоте на лис», называемом также спортивной радиопеленгацией, и коротковолновом радиоспорте. Считай это приглашением в радиоспорт. Начну с «охоты на лис».

ЧТО ТАКОЕ «ЛИСА»?

«Лисами» называют маломощные радиопередатчики, которые размещают в лесу, в кустарнике, на полянах. Каждую лису маскируют так, чтобы радиоспортсмен-«охотник» мог увидеть ее с расстояния не более 3...5 м. Вместе с передатчиками маскируют операторов лис и судей соревнований. В зависимости от условий соревнований число лис на местности может быть от двух до пяти, а вся трасса поиска лис достигать несколько километров.

Каждой лисе присваивается номер: первый, второй и т. д. Операторы лис поочередно, ровно по минуте ведут передачи: «Я лиса первая, я лиса первая», «Я лиса вторая, я лиса вторая»... Кончает работать последняя лиса, тут же начинает передачу первая. Все лисы работают на одном из радиолюбительских диапазонов: 80-(3,5...3,65 МГц), 10-(28...29,7 МГц) или 2-метровом (144... ...146 МГц) диапазонах. Для начинающих лисоловов наиболее доступен 80-метровый диапазон.

«Оружием» лисолова служит радиоприемник, настраиваемый на рабочие частоты лис.

Пользуясь им как пеленгатором, охотник должен найти всех лис и, руководствуясь сигналами приводной лисы, вернуться в район старта, являющийся одновременно и финишем. Выигрывает тот охотник, который выполнит эту задачу с наименьшей затратой времени.

Ты уже знаешь, что громкость приема сигналов радиовещательной станции на транзисторный приемник зависит от положения ферритового стержня его магнитной антенны по отношению к радиостанции. Поворачивая приемник вокруг вертикальной оси, нетрудно найти два положения стержня магнитной антенны, когда громкость приема будет максимальной, и два положения, когда громкость минимальна. Объясняется это тем, что магнитная антенна обладает направленными свойствами. Громкость приема будет максимальной, когда ось стержня, а значит, и ось намотанной на нем катушки входного контура перпендикулярны направлению прихода радиоволн (рис. 379, *а*). Когда же ось магнитной антенны расположена в направлении на радиостанцию, громкость приема будет минимальной.

Рассмотри хорошенько рис. 379, *б*. На нем графически изображена диаграмма направленности магнитной антенны W с ферритовым стержнем. Направленность такой антенны имеет вид цифры «8». Лепестки «восьмерки» антенны соответствуют максимуму, а участки между ними — минимуму громкости приема. Антенна с такой диаграммой направленности имеет два симметричных минимума и два, тоже симметричных, максимума. Определять направление на лису лучше по минимуму громкости. Делают это так. Приемник, настроенный на лису, поворачивают вокруг вертикальной оси до получения четко выраженного минимума громкости. При этом прямая, проходящая через ось магнитной антенны, укажет направление на лису. Но чтобы охотник знал, с какой стороны от него на этой прямой находится лиса, антенна приемника должна иметь одностороннюю диаграмму направленности.

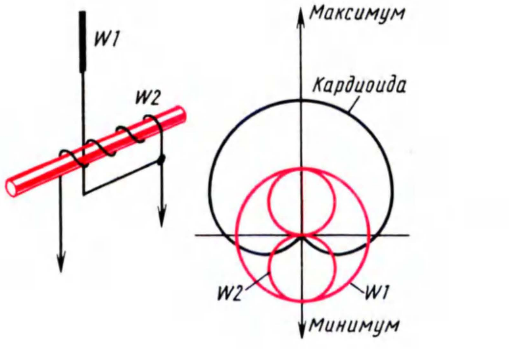


Рис. 380. Соединенные между собой магнитная и штыревая антенны обладают односторонней направленностью

Такую диаграмму можно получить, если применить в приемнике комбинацию из двух антенн: магнитной и штыревой (рис. 380). Штыревая антенна W1 имеет круговую диаграмму направленности, и если она определенным образом подключена к магнитной антенне, то результирующая диаграмма направленности обеих антенн будет иметь резко выраженные один максимум и один минимум. Диаграмму направленности, имеющую такой вид, называют кардиоидой. Во время поиска лисы охотник пользуется обеими антеннами. По максимуму кардиоиды, когда действуют обе антенны, он находит сторону, где расположена лиса. Точное же направление на лису он определяет по минимуму только магнитной антенны.

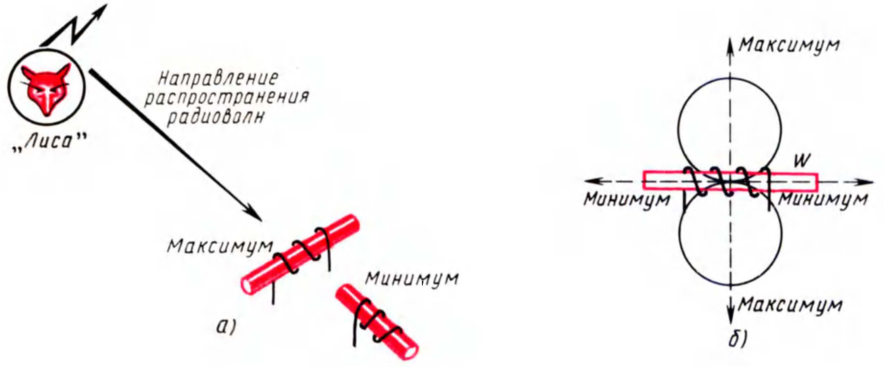


Рис. 379. Направленные свойства магнитной антенны

Для поиска лисы можно также пользоваться рамочной антенной — катушкой сравнительно больших размеров, имеющей форму кольца или прямоугольной рамки. Это тоже магнитная антенна, так как в ней ЭДС радиочастотного сигнала возбуждается магнитным полем радиоволны. Она имеет точно такую же диаграмму направленности, как и магнитная антенна с ферритовым стержнем. Максимум диаграммы направленности такой антенны бывает тогда, когда плоскость рамки находится в вертикальном положении и совпадает с направлением на лису, а минимум — когда плоскость рамки перпендикулярна к направлению на лису. При подключении к рамочной антенне штыревой их диаграмма направленности принимает вид кардиоиды.

У рамочной антенны минимум диаграммы направленности ощущается значительно острее, чем у магнитной антенны с ферритовым стержнем. Она к тому же более чувствительна. Именно поэтому лисоловы чаще всего применяют в своих приемниках рамочные антенны.

РАДИОКОМПАС

Но приемник-пеленгатор в руках лисолова не является гарантией успеха в соревнованиях. Охотник должен еще хорошо ориентироваться на местности, пользоваться компасом, ходить по азимуту и, конечно, быть выносливым — ведь он должен за короткое время пробежать значительное расстояние, преодолевая на пути различные препятствия. Нужна тренировка. Можно ли начать тренировку без лисы? Можно! Для этого нужен радиокомпас — простой приемник с магнитной антенной, с помощью которого можно брать ориентир на местную радиовещательную станцию. Сигналы этой станции будут выполнять роль лисы.

Принципиальная схема возможного варианта такого приемника-пеленгатора показана на рис. 381. Катушка L1 и ферритовый стержень, на котором она находится, образуют магнитную антенну W1, а совместно с конденсаторами C1 и C2 — входной колебательный контур с постоянной настройкой на местную или отдаленную мощную радиовещательную станцию. Грубая настройка колебательного контура на несущую частоту этой станции осуществляется подбором емкости конденсатора C1, а точная — подстроечного конденсатора C2. Принятый сигнал через катушку связи L2 и разделительный конденсатор C3 поступает на вход двухкаскадного усилителя РЧ, собранного на транзисторах VT1 и VT2, а после усиления детектируется диодами VD1 и VD2, включенными по схеме удвоения выходного напряжения. Колебания звуковой частоты с резистора R5, являющегося нагрузкой детектора, через оксидный конденсатор C7 поступают на вход однокаскадного усилителя ЗЧ на транзисторе VT3, усиливаются им и телефонами BF1, включенными через двухгнездную колодку X1 в коллекторную цепь транзистора, и преобразуются в звуковые колебания.

Источником питания приемника служит батарея 3336 или три элемента 332, соединенные последовательно. Потребляемый ток не превышает 3 мА.

Для тебя, уже имеющего опыт постройки приемников прямого усиления, конструирование и налаживание радиокомпаса не составят какихлибо трудностей.

Конструкция приемника может быть такой, как показана на рис. 382. Держа приемник вертикально в руке, охотник поворачивает его

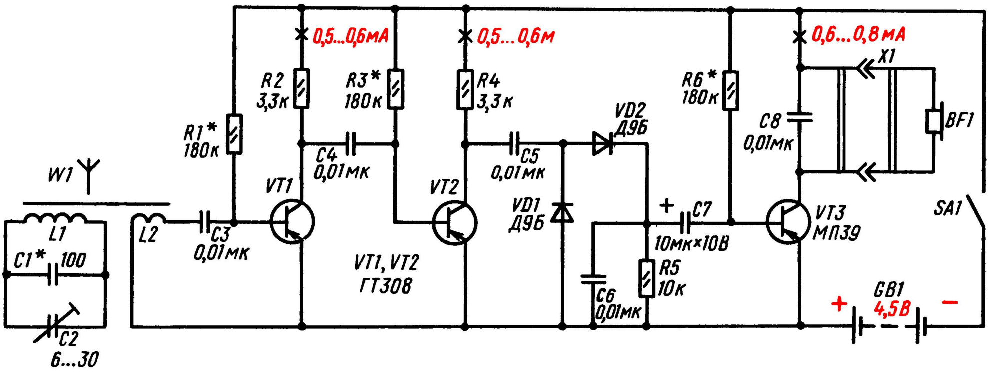


Рис. 381. Принципиальная схема приемника-пеленгатора

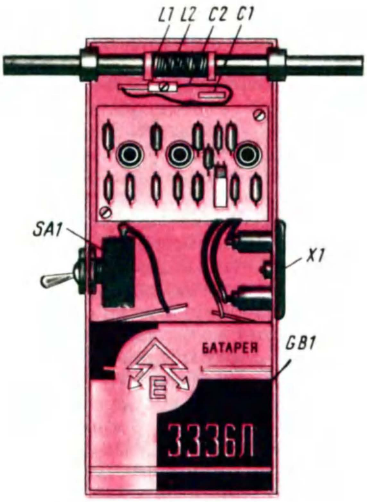


Рис. 382. Конструкция приемника-пеленгатора

из стороны в сторону, добиваясь наименьшей громкости звука в телефонах, и по положению ферритового стержня магнитной антенны определяет направление на условную лису.

Корпус приемника — фанерная или пластмассовая коробка, позволяющая разместить батарею 3336, выключатель питания SB1, монтажную плату с деталями усилителей и детектора, среднюю часть ферритового стержня с катушками, двухгнездную колодку X1 для подключения телефона. Стержень магнитной антенны с надетыми на него амортизирующими резиновыми кольцами удерживается в вырезах боковых стенок корпуса крышкой (на рис. 382 крышка снята).

В каскадах усиления радиочастоты можно использовать любые маломощные высокочастотные транзисторы (ГТ308, ГТ310, П401 — П403, П416, П422 и т. д.) со статическим коэффициентом передачи тока не менее 50, а в усилителе 3Ч (VT3) — любой маломощный низкочастотный транзистор (МП39 — МП42) с коэффициентом $h_{21\text{э}}=60...80$. Диоды детекторного каскада — точечные типа Д2 или Д9 с любым буквенным индексом. Головные телефоны — высокоомные, например ТОН-1, ТА-4. Подстроечный конденсатор C2 типа КПК-1, оксидный конденсатор C7 — К50-6 (можно К50-3, К50-1). Остальные конденсаторы могут быть любыми.

Плату размерами 65 × 40 мм (рис. 383) выпили из листового гетинакса, текстолита или стеклотекстолита толщиной 1...1,5 мм. Опорными монтажными точками могут служить пустотелые заклепки или отрезки медной облуженной проволоки диаметром 1...1,5 и длиной 8...10 мм, запрессованные в отверстия, просверленные в заготовленной плате. Плату устанавливай в корпусе на невысоких стойках. Подстроечный конденсатор C2 крепи непосредственно к стенке корпуса и к его выводам припаяй конденсатор C1 и выводы катушки L1.

Для магнитной антенны используй стержень из феррита марки 400НН или 600НН диаметром 8...9 и длиной 150 мм (можно длиннее). Катушку L1 контура магнитной антенны намотай на цилиндрическом каркасе, склеенном из бумаги. Ее данные зависят от длины волны той радиостанции, сигналы которой будешь использовать в качестве лисы. Для радиостанции средневолнового диапазона эта катушка должна содержать 65 — 70 витков провода ПЭВ-1 0,12...0,15, намотанных на каркас в один слой (виток к витку), для радиостанции длинноволнового диапазона — около 250 витков такого же провода, намотанных пятью секциями (по 50 витков в каждой секции). Катушка связи L2, намотанная таким же проводом поверх катушки L1 в средней ее части, должна содержать соответственно 3 — 5 или 10 — 12 витков.

Если приемник смонтирован точно по принципиальной схеме из заведомо исправных

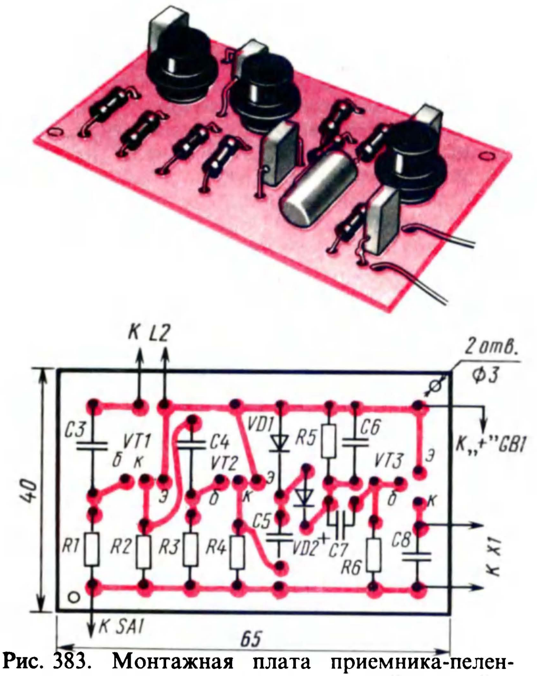


Рис. 383. Монтажная плата приемника-пеленгатора и схема соединения деталей на ней

деталей, то все налаживание его сведется к установке режимов работы транзисторов (указаны на схеме) и настройке входного колебательного контура L1C1C2 на волну выбранной радиостанции. Ток покоя транзистора VT3 устанавливай подбором резистора R6, транзистора VT2 — подбором резистора R3, транзистора VT1 — подбором резистора R1.

Приступая к настройке входного контура, ротор подстроечного конденсатора C2 установи в положение средней емкости, конденсатор C1 временно замени конденсатором переменной емкости любой конструкции и, изменяя его емкость и медленно вращая приемник в горизонтальной плоскости, прослушай весь диапазон радиоволн, перекрываемый контуром магнитной антенны. Выбрав наиболее четко и без помех принимаемую радиовещательную станцию, временно включенный конденсатор переменной емкости замени постоянным конденсатором соответствующей емкости и более точно подстрой контур на ту же станцию конденсатором C2

В крышке корпуса сделай отверстие, через которое отверткой можно вращать ротор подстроечного конденсатора C2 и таким образом проверять точность настройки контура магнитной антенны на выбранную станцию.

Теперь можно приступить к тренировкам. Возьми приемник, отвертку и отправляйся в лес. Включи приемник и настрой его поточнее на частоту местной станции. Вращая приемник вокруг вертикальной оси, ты без труда «нащупаешь» два максимума и два минимума «восьмерки» антенны, причем минимум будет ощущаться острее: стоит немного изменить положение приемника, как громкость приема возрастет. Максимум же будет более расплывчатым. По положению ферритового стержня магнитной антенны ты можешь мысленно провести проходящую через него прямую, на которой находится радиостанция (рис. 384, *а*). Найди на этой прямой какой-либо ориентир — отдаленное от тебя дерево, куст или иной предмет. Заметь любым способом место, где ты сейчас стоишь, и беги к ориентиру. Возле

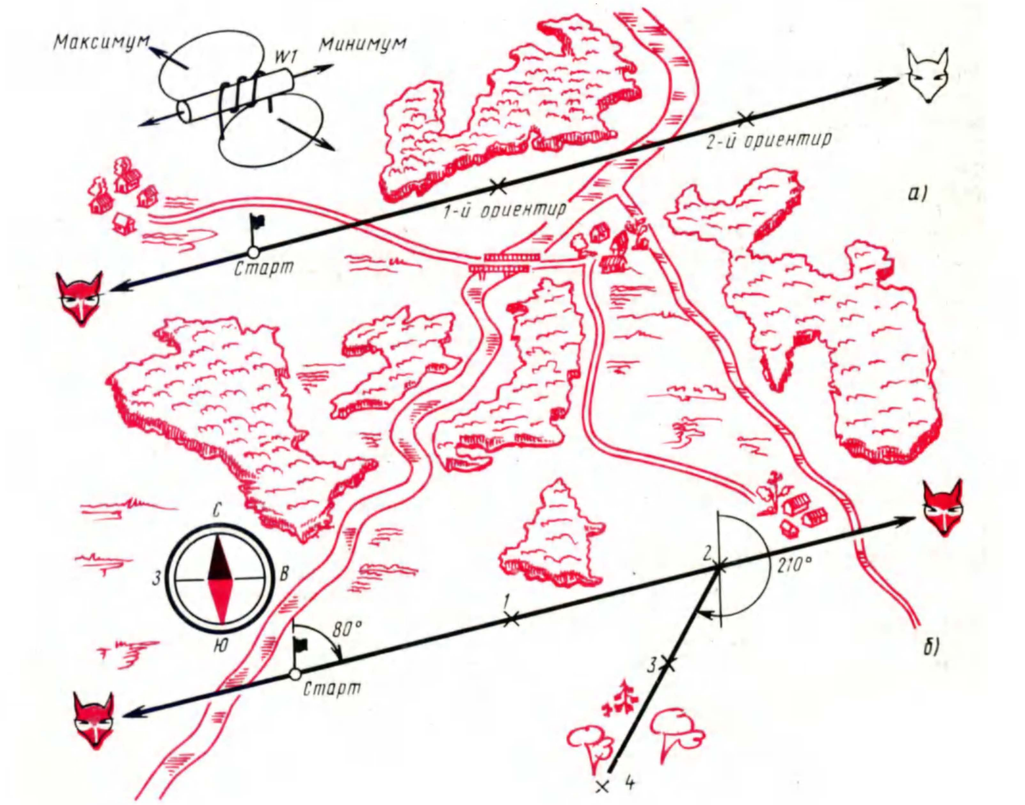


Рис. 384. Схемы тренировочных трасс

него уточни по приемнику намеченное тобой направление, наметь следующий ориентир и тоже беги к нему. Повернись здесь на 180° и, засекая по минимуму сигналов станции другие ориентиры в обратном направлении, постарайся прибежать к исходной точке — старту. Чем больше будет расстояние от старта до конечного ориентира, тем сложнее задача.

На рис. 384, *б* показана схема более сложной трассы поиска лисы. В этом случае для тренировки потребуется кроме приемника-пеленгатора еще и компас. В исходной точке, пользуясь приемником и компасом, определи азимут условной лисы, т. е. угол между направлением на север и направлением на лису. Допустим, что азимут 80°. Наметь в этом направлении ориентир и, считая пары шагов, иди к нему. Проверив здесь по приемнику и компасу намеченное направление, засекай следующий ориентир и иди к нему, продолжая считать пары шагов. Допустим, что до него получилось 320 пар шагов. Отсюда иди в другом направлении, например по азимуту 210°. Пройдя в этом направлении несколько сотен пар шагов, повернись на 180° и опять-таки по приемнику и компасу иди, считая шаги, обратно к старту. Очевидно, что теперь азимут на поворот (на рис. 384, *б* — точка 2) составит 60°, а от поворота к старту — 260°. Чем тщательнее будут определены направления и отсчитаны пары шагов, тем точнее можно выйти к исходной точке.

Ты можешь сам заранее придумать и начертить схему тренировочной трассы с несколькими поворотами, задаться какими-то расстояниями между намеченными точками и идти по ней туда и обратно. Чем сложнее трасса, тем интереснее задача, тем богаче опыт ориентации на местности. Опыт этот совершенно необходим для «охоты на лис».

Лучше, конечно, такой тренировкой заниматься компанией в несколько человек. Можно даже устроить соревнования — кто точнее берет пеленг и ходит по азимуту! Что же касается участия в настоящих соревнованиях по «охоте на лис», то для этого нужен соответствующий приемник-пеленгатор.

ПРИЕМНИК «ЛИСОЛОВА»

Соревнования «охота на лис» вошли в традицию многих городов, областей и краев нашей страны. Их победителям представляется право участовать в республиканских, а затем и в межреспубликанских соревнованиях. А мастера этого вида радиоспорта, в том числе и юные, защищают спортивную честь страны на международных встречах.

Чем выше уровень соревнований, тем выше требования, предъявляемые к «оружию» охотника и его спортивной подготовке. На местных, например городских или районных, соревнованиях школьников трасса поиска лис может быть всего 2...2,5 км, а лисы могут работать телефоном в режиме амплитудной модуляции. Участвовать в таких соревнованиях можно с приемником прямого усиления. На соревнованиях же областных, республиканских, и более высокого уровня трасса больше, да и лисы работают телеграфом — сигнализируют о себе знаками телеграфной азбуки. В этом случае оператор лисы № 1 передает знаками телеграфной азбуки буквы МОЕ (МОЕ, МОЕ...МОЕ), оператор лисы № 2 — буквы МОИ (МОИ, МОИ...МОИ), оператор лисы № 3 — буквы МОС (МОС, МОС...МОС), оператор приводной лисы передает только буквы МО (МО, МО...МО). Для участия в соревнованиях такого уровня нужен более чувствительный приемник, способный к тому же реагировать на немодулированные сигналы телеграфной азбуки. Таким приемником-пеленгатором может быть супергетеродин с дополнительным телеграфом-гетеродином или приемник прямого преобразования.

Но начинать надо с более простого. Поэтому расскажу тебе о двух приемниках разной сложности. Оба они рассчитаны для «охоты на лис» в диапазоне 3,5 МГц.

Первый из них (рис. 385) представляет собой приемник прямого усиления 0-V-3, но у него на входе две антенны: рамочная W2 и штыревая W1. Переключатель SA1 служит для подключения штыревой антенны к рамочной при определении направления на лису. В этом случае диаграмма направленности антенн имеет вид кардиоиды. Во время поиска лисы только на рамочную антенну отключенная от нее штыревая антенна заземляется. Дроссель L3 и резистор R1 нужны для согласования антенны-штыря с рамочной антенной.

Во входной контур L1C2, настраиваемый на частоту лисы конденсатором C2, включен контур L2C1. Это фильтр-пробка, «запирающая» сигналы близкой по частоте мешающей радиовещательной станции. Данные деталей фильтра зависят от длины волны мешающей станции. Если в месте проведения соревнования такой помехи нет, контур L2C1 можно исключить или замкнуть накоротко проволочной перемычкой.

Модулированный по амплитуде сигнал лисы детектируется диодом VD1. Напряжение звуковой частоты, создающееся на его нагрузочном резисторе R2, через конденсатор C4 подается на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя ЗЧ. Этот транзистор включен по схеме ОК, что сделано для лучшего согласования его с детектором. Нагрузкой транзистора VT1 служит резистор R4. С него сигнал через

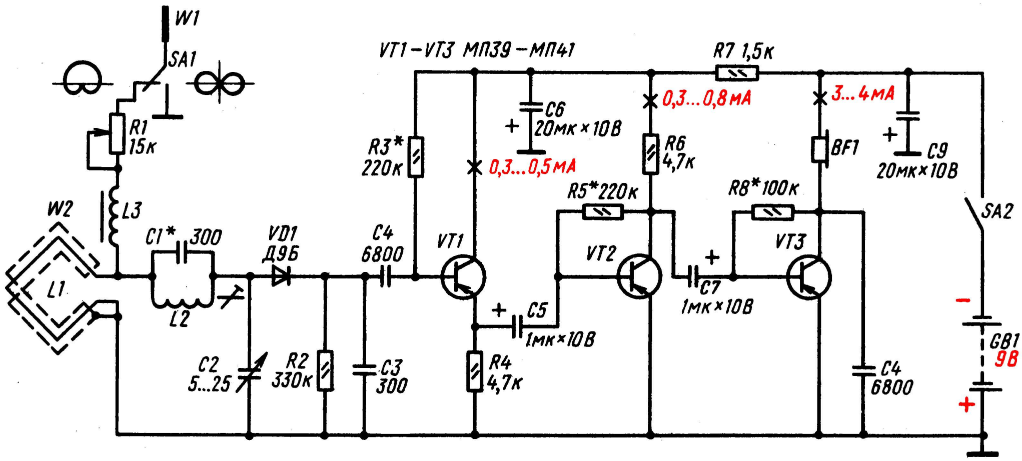

W1
SA1
R1 15к
L3
W2
L1
C1* 300
L2
VD1 Д9Б
C2 5...25
R2 330к
C3 300
C4 6800
R3* 220к
VT1–VT3 МП39–МП41
VT1
C6 20мк×10В
0,3...0,5мА
C5 1мк×10В
R4 4,7к
R7 1,5к
0,3...0,8мА
R6 4,7к
R5* 220к
VT2
C7 1мк×10В
R8* 100к
VT3
3...4мА
BF1
C9 20мк×10В
SA2
GB1 9В
C4 6800

Рис. 385. Принципиальная схема приемника прямого усиления для «охоты на лис»

конденсатор C5 поступает к транзистору VT2 второго каскада, а с его нагрузочного резистора R6 — к транзистору VT3 выходного каскада усилителя ЗЧ.

Резистор R7 и конденсатор C6 образуют ячейку развязывающего фильтра, предотвращающего самовозбуждение приемника через общие цепи питания; R3, R5 и R8 — резисторы цепей смещения; C9 — конденсатор, блокирующий источник питания GB1.

Сопротивления постоянных резисторов и емкости конденсаторов могут отличаться от указанных на схеме номиналов до 25...30%. Конденсатор C4 не должен иметь емкость более 0,01 мкФ, иначе будет затруднен поиск лисы в непосредственной близости к ней.

Коэффициент $h_{21э}$ транзисторов не менее 50. Дроссель L3 намотан на унифицированном каркасе с ферритовыми кольцами внешним диаметром 8 мм и содержит 70—80 витков провода ПЭВ-1 0,1...0,12. Резистор R1 — СПО-0,5. Переключатель SA1 и выключатель питания SA2 — тумблеры типа ТВ1-2.

Наиболее трудоемкая деталь приемника — это рамочная антенна W2 (рис. 386). Она состоит из шести витков одножильного монтажного провода с токонесущей жилой диаметром 0,5...0,8 мм, уложенных в полость незамкнутого металлического кольца диаметром 250...280 мм. Для кольца, являющегося экраном этой антенны, можно использовать медную или алюминиевую трубку диаметром 8...12 и длиной 940...950 мм, согнув ее на подходящей болванке, например на ведре. В средней части проделай напильником овальное отверстие, через которое будешь крепить трубку в корпусе приемника и укладывать в нее провод антенны. Штыревой антенной может служить дюралюминиевая, медная или латунная трубка диаметром 5...7 и длиной 600...800 мм. В крайнем случае ее можно сделать из велосипедных спиц.

Конструкция и внешний вид приемника показаны на рис. 387. Корпус, имеющий вид коробки с крышкой, сделай из листового дюралюминия, следя за тем, чтобы в нем не было щелей. Трубчатое кольцо рамочной антенны пропусти через отверстия в стенках корпуса, надежно прикрепи его к дну корпуса и только после этого укладывай в него провод. Щель в кольце надежно закрой резиновой полоской или изоляционной лентой. Штыревую антенну скрепи с рамочной с помощью изолирующей

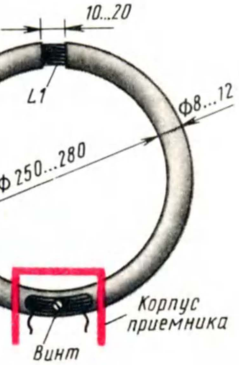

10...20
L1
Ф8...12
Ф250...280
Корпус приемника
Винт

Рис. 386. Рамочная антенна

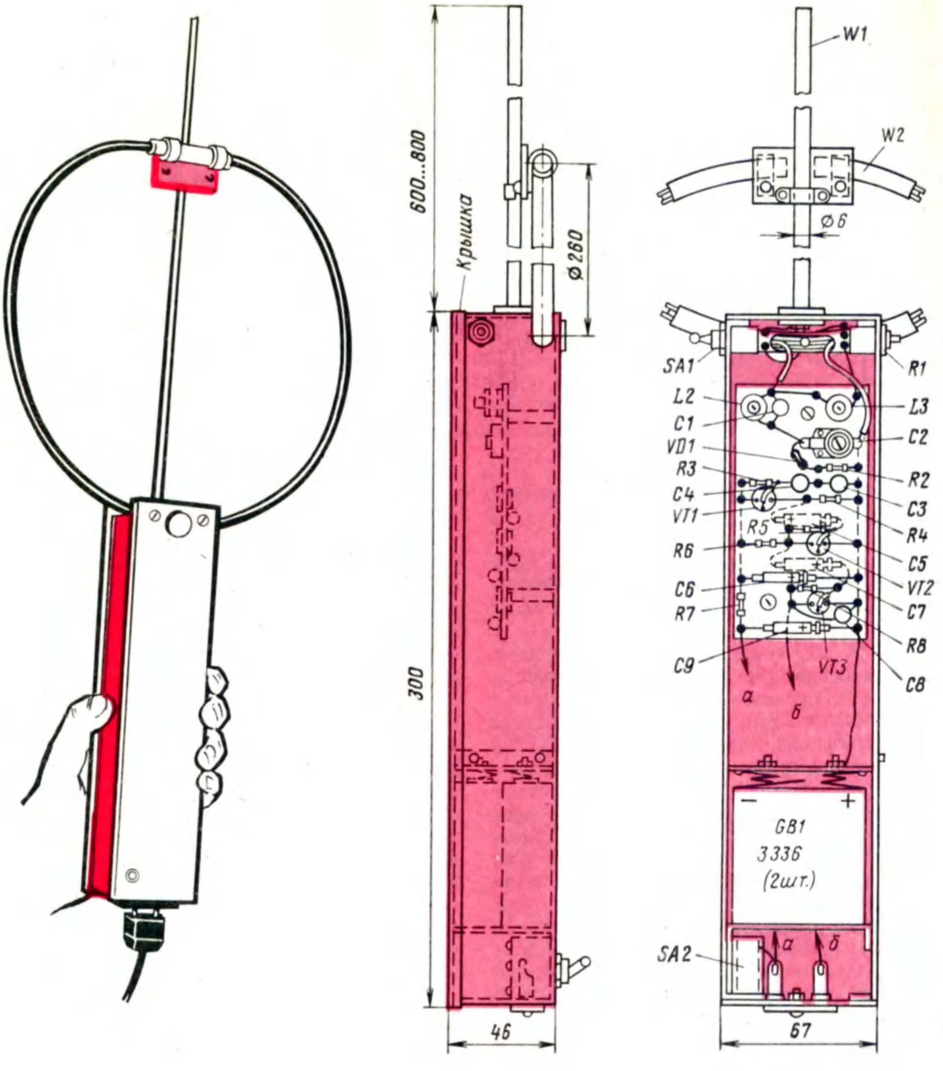

600...800
Крышка
Ø260
300
46
W1
W2
Ø6
SA1
R1
L2
L3
C1
C2
VD1
R3
R2
C4
C3
VT1
R4
R5
C5
R6
VT2
C6
C7
R7
R8
C9
VT3
C8
а
б
−
+
GB1
3336
(2шт.)
SA2
а
б
67

Рис. 387. Внешний вид и конструкция приемника

гетинаксовой пластинки с жестяными хомутиками. Монтажную плату с деталями крепи в корпусе на стойках.

Корпус рассчитан на использование для питания приемника двух батарей 3336, соединенных последовательно. Приемник можно питать и от батареи «Крона» или 7Д-0,1, но ее чаще придется менять.

Второй приемник-пеленгатор рассчитан на прием сигналов лис, работающих телеграфом (рис. 388). Он является приемником прямого преобразования, т. е. приемником, в котором радиочастотный сигнал лисы преобразуется непосредственно в сигнал звуковой частоты.

Прежде чем начать рассказ о таком приемнике лисолова, надо, видимо, ответить на вопрос: в чем суть принципа работы приемника прямого преобразования? В приемнике такого типа, как и в супергетеродине, есть смеситель и гетеродин, т. е. преобразователь частоты

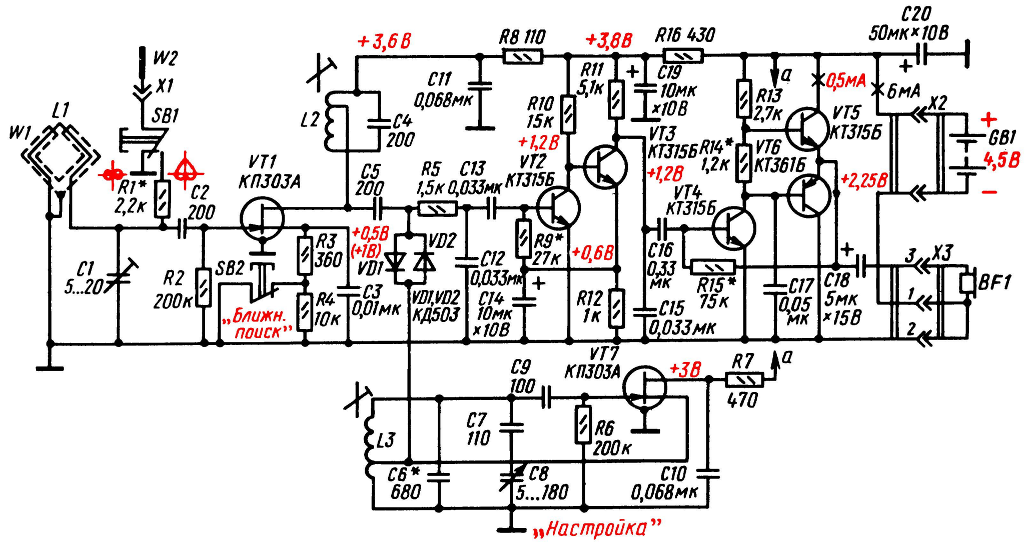

W2
X1
SB1
L1
W1
R1*
2,2к
C2
200
C1
5...20
R2
200к
SB2
„Ближн. поиск"
VT1
КП303А
R3
360
R4
10к
C3
0,01мк
+3,6В
L2
C11
0,068мк
C4
200
C5
200
+0,5В
(+1В)
VD1
VD2
VD1,VD2
КД503
R5
1,5к
C13
0,033мк
C12
0,033мк
C14
10мк
×10В
R8 110
+3,8В
R10
15к
+1,2В
VT2
КТ315Б
R9*
27к
+0,6В
R11
5,1к
C19
10мк
×10В
VT3
КТ315Б
+1,2В
R12
1к
R16 430
R13
2,7к
R14*
1,2к
VT6
КТ361Б
VT4
КТ315Б
C16
0,33
мк
R15*
75к
C15
0,033мк
C17
0,05
мк
a
0,5мА
VT5
КТ315Б
+2,25В
C18
5мк
×15В
C20
50мк×10В
6мА
X2
GB1
4,5В
X3
BF1
VT7
КП303А
+3В
R7
470
a
C9
100
L3
C7
110
R6
200к
C6*
680
C8
5...180
C10
0,068мк
„Настройка"

Рис. 388. Принципиальная схема приемника прямого преобразования для «охоты на лис»

принятого сигнала. Но в нем в результате преобразования получаются не колебания относительно высокой промежуточной частоты, а непосредственно колебания звуковой частоты. Эти колебания поступают на вход усилителя 3Ч, нагрузкой которого служат головные телефоны.

В смесителе описываемого здесь приемника работают два встречно-параллельно включенных кремниевых диода VD1 и VD2. На них подаются одновременно напряжения двух сигналов: входного и от гетеродина. Причем сигнал гетеродина по напряжению в тысячи раз превышает входной сигнал, поэтому диоды смесителя управляются практически только сигналом гетеродина.

Вольт-амперная характеристика кремниевого диода, графически изображающая зависимость тока через диод от приложенного к нему напряжения, имеет вид, показанный на рис. 389. Из нее нетрудно сделать вывод, что кремниевый диод открывается и начинает проводить ток лишь при напряжении, бо́льшем некоторого порогового, равного примерно 0,5 В. Если к диоду приложено напряжение гетеродина 0,6...0,7 В, то он проводит ток в очень короткие промежутки времени — только на пиках напряжения гетеродина. Так работает и второй диод смесителя, но только при отрицательных полупериодах напряжения гетеродина.

В итоге за один период напряжения гетеродина диоды смесителя открываются и проводят ток дважды — на пиках положительного и отрицательного полупериодов. Соответственно источник входного сигнала дважды за период подключается к нагрузке преобразовательного каскада (низкочастотный фильтр R5C12). При такой частоте коммутации цепи сигнала в нагрузке выделяются биения со звуковой частотой, равной $f_{сиг} - 2f_{гет}$.

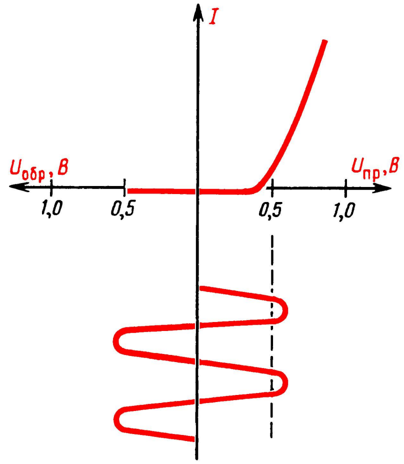


Рис. 389. Принцип действия кремниевого диода

Графически процесс возникновения колебаний звуковой частоты в приемнике прямого преобразования показан на рис. 390. Закрашенные участки на рис. 390, *а* соответствуют интервалам времени, когда один из диодов смесителя открыт и ток сигнала поступает в нагрузку. График на рис. 390, *б* изображает напряжение входного сигнала, причем частота его колебаний несколько превышает удвоенную частоту гетеродина. График на рис. 390, *в* иллюстрирует ток, поступающий в нагрузку. Этот ток пропорционален мгновенному напряжению сигнала, когда один из диодов открыт. Графики показывают, что в начале процесса, когда напряжение входного сигнала и гетеродина синфазны, в нагрузку поступают положительные импульсы тока. Когда же колебания становятся противофазными — отрицательные. Фильтр ЗЧ на выходе преобразовательного каскада сглаживает импульсы тока и пропускает к усилителю ЗЧ приемника лишь медленно меняющуюся составляющую тока, показанную на рис. 390, *в* штриховой линией. Эта составляющая представляет собой колебания звуковой частоты, равной $f_{сиг} - 2f_{гет}$, которые после усиления преобразуются телефонами в звук.

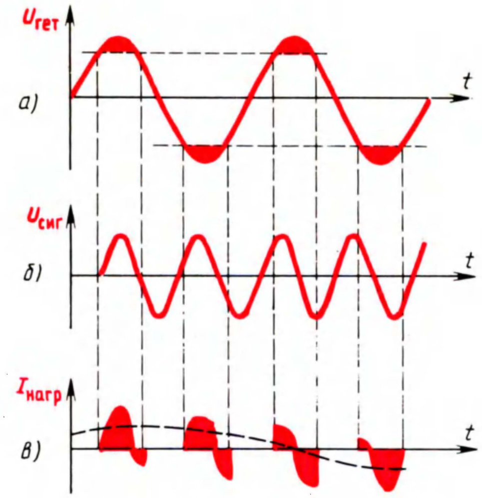


Рис. 390. Графики, иллюстрирующие процесс возникновения колебаний звуковой частоты в приемнике прямого преобразования

Чувствительность предлагаемого приемника прямого преобразования для охоты на лис в диапазоне 3,5 МГц, измеренная по напряженности поля электромагнитной волны, составляет 13 мкВ/м (у промышленного приемника «Лес» чувствительность около 30 мкВ/м). Питается приемник от одной батареи 3336 и потребляет ток 6...7 мА. Отдельного выключателя в приемнике нет — питание подается одновременно с подключением головных телефонов, на которые ведется прием.

На входе приемника две антенны: рамочная W1 и штыревая W2. При их одновременном использовании общая диаграма направленности принимает форму кардиоиды — с резко выраженным максимумом в одну сторону и минимумом в противоположную, что и необходимо для определения точного направления на лису. Катушка L1 рамочной антенны и конденсатор C1 образуют входной колебательный контур, настроенный на частоту 3,6 МГц — среднюю частоту диапазона, в котором работают все лисы. Штыревую антенну подключают к контуру кнопочным выключателем SB1.

Выделенный контуром телеграфный сигнал лисы поступает через разделительный конденсатор C2 на затвор полевого транзистора VT1 однокаскадного усилителя РЧ. Большое входное сопротивление полевого транзистора практически не шунтирует входной контур и, следовательно, не ухудшает его добротность. Роль нагрузки усилителя выполняет контур L2C4, включенный в стоковую цепь транзистора и настроенный, как и входной контур, на среднюю частоту диапазона. С нее усиленный сигнал поступает через конденсатор C5 в цепь смесителя.

Чтобы во время ближнего поиска сигнал лисы не перегружал усилительный тракт, чувствительность приемника уменьшают (загрубляют). Чаще всего это делают с помощью переменного резистора, выполняющего роль регулятора усиления (громкости). В описываемом же приемнике чувствительность уменьшают скачкообразно с помощью кнопочного выключателя SB2 «Ближний поиск». Пока его контакты замкнуты и на затвор транзистора VT1 подается напряжение смещения, соответствующее падению напряжения только на резисторе R3, чувствительность приема максимальная. При нажатии кнопки ее контакты размыкаются и в цепь истока включается еще резистор R4, сопротивление которого во много раз больше сопротивления резистора R3. В результате падения напряжения на них практически закрывает транзистор VT1 и усиление каскада снижается примерно в десять раз, что вполне приемлемо для ближнего поиска лис.

В гетеродине работает полевой транзистор VT7. Его колебательный контур состоит из катушки L3 и конденсаторов C6 — C8. Нижняя (по схеме) секция контурной катушки, включенная в истоковую цепь транзистора, выполняет роль катушки положительной обратной связи, благодаря которой каскад возбуждается и генерирует колебания радиочастоты. Частота колебаний гетеродина должна быть вдвое меньше частоты входного сигнала; она изменяется конденсатором переменной емкости C8 от 1,75 до 1,825 МГц. При этом приемник будет перекрывать всю полосу частот диапазона 3,5 МГц.

Колебания гетеродина с истока транзистора подаются на встречно-параллельно включенные диоды VD1, VD2 смесителя преобразовательного каскада. Возникающие в результате прямого преобразования сигнала колебания звуковой частоты попадают через фильтр R5C12 на вход усилителя ЗЧ для усиления до необходимого уровня. Усилитель ЗЧ приемника четырехкаскадный, на кремниевых транзисторах. Связь между транзисторами первых двух каскадов непосредственная — база транзистора VT3 второго каскада соединена с коллектором транзистора VT2 первого каскада. Напряжение смещения на базу транзистора VT2 снимается с эмиттерного резистора R12 транзистора VT3. Конденсатор C14, шунтирующий резистор R12 по переменному току, устраняет отрицательную обратную связь, снижающую усиление этих каскадов.

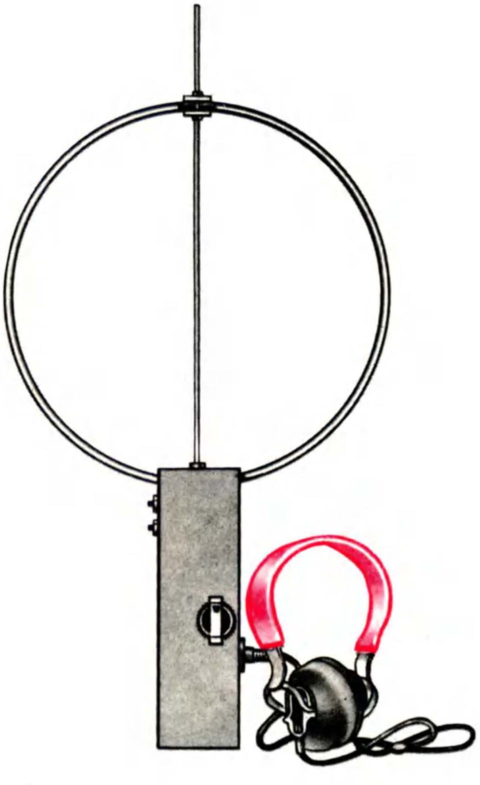


Рис. 391. Внешний вид приемника

С нагрузочного резистора R11 усиленный сигнал подается через конденсатор C16 на базу транзистора VT4 третьего каскада, а с его нагрузки, состоящей из реисторов R13 и R14, на базы транзисторов VT5 и VT6 четвертого, выходного каскада. Транзисторы выходного каскада — разных структур, они включены эмиттерными повторителями и работают в режиме двухтактного усиления мощности. Транзистор VT5 (структуры n-p-n) усиливает положительные, а транзистор VT6 (p-n-p) отрицательные полуволны колебаний звуковой частоты. Головные телефоны BF1, подключенные к выходу усилителя через разъем X3 и конденсатор C18, преобразуют колебания звуковой частоты в звук.

Резистор R15 создает между выходом усилителя и базой транзистора VT4 предоконечного каскада отрицательную обратную связь по постоянному и переменному току, что улучшает частотную характеристику усилителя. Резистор R14, входящий в нагрузку транзистора VT4, устраняет искажения типа «ступенька», наиболее ощутимые при слабых сигналах. Конденсаторы C15 и C17 замыкают на общий (заземленный) проводник наивысшие частоты звукового диапазона и тем самым предотвращают самовозбуждение усилителя ЗЧ. Резисторы R7, R8, R16 и конденсаторы C10, C11 и C19 образуют три развязывающих фильтра, устраняющих паразитные связи между блоками приемника через общий источник питания. Оксидный конденсатор C20 шунтирует батарею питания по переменному току. Его роль особо сказывается при частичной разрядке батареи питания, когда ее внутреннее сопротивление переменному току увеличивается.

Внешний вид приемника показан на рис. 391, а его конструкция — на рис. 392. Он смонтирован в корпусе с внутренними размерами 210×65×32 мм, изготовленном из листового алюминия толщиной 2 мм. Съемную крышку Г-образной формы привинчивают винтами М3 к дюралюминиевым уголкам, приклепанным к коротким стенкам корпуса. Если приемник взять в правую руку, то указательным и средним пальцами можно будет нажимать кнопки SB1 и SB2, а большим пальцем (или левой рукой) вращать ручку настройки контура гетеродина.

Конструктивно антенны этого приемника (рис. 393) аналогичны антеннам приемника первого варианта. Катушка L1 рамочной антенны состоит из шести витков монтажного провода с токонесущей жилой толщиной 0,5..0,8 мм, уложенного в полость незамкнутого металлического кольца 1 диаметром около 280 мм. Через овальное отверстие в средней части кольцо винтом 5 закреплено в корпусе 6. Через это же отверстие в полость трубки

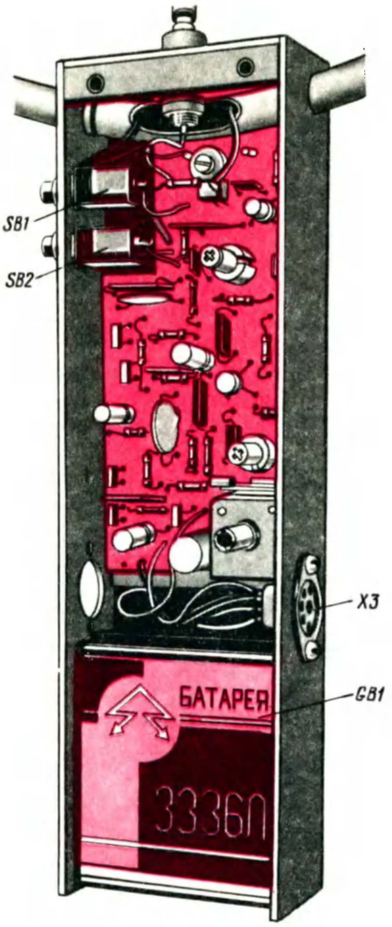


Рис. 392. Конструкция приемника

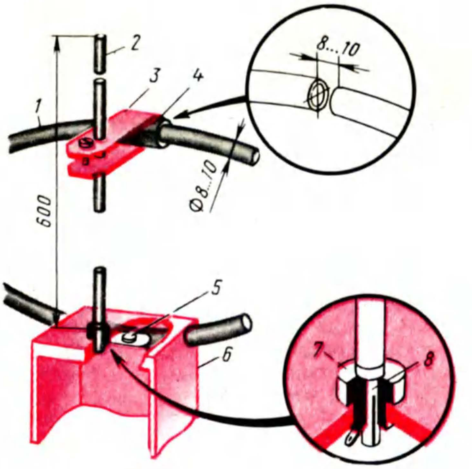


Рис. 393. Детали антенн приемника

уложен провод катушки. Кромки отверстий в боковых стенках корпуса вокруг кольца рамочной антенны необходимо уплотнить кернером, постукивая по нему молотком.

Штыревая антенна 2 представляет собой отрезок латунной или дюралюминиевой трубки диаметром 5...7 и длиной 550...600 мм. Однополюсной вилкой 8, впрессованной в трубку, штырь вставляют в предназначенное для него гнездо 7 (X1), изолированное от корпуса. В верхней части штырь полоской органического стекла, изогнутой наподобие буквы П, скрепляют с торцами кольца рамочной антенны скобой 3 из органического стекла. Чтобы предотвратить попадание внутрь трубки влаги, открытая рабочая часть катушки рамочной антенны закрыта прокладкой — отрезком поливинилхлоридной или резиновой трубки 4.

Большая часть деталей приемника смонтирована печатным методом на плате из фольгированного стеклотекстолита размерами 115×85 мм (рис. 394). Токонесущие площадки и проводники на плате, имеющие различную конфигурацию, образуют продольные и поперечные прорези фольги шириной 1...1,5 мм, сделанные острием ножа или резаком.

Катушки L2 и L3 намотаны проводом ПЭВ-1 0,12 на пластмассовых унифицированных четырехсекционных каркасах с подстроечниками из феррита 600НН диаметром 2,8 и длиной 12 мм. Такие каркасы используют для катушек гетеродинных контуров радиовещательных приемников. Катушка L2 содержит 45 витков с отводом от 15-го витка, L3 — 40 витков с отводом от 5-го витка, считая от «заземленного» вывода (нижний по схеме).

Кнопки SB1 и SB2 — типа КМ-1. Все резисторы могут быть МЛТ-0,25, МЛТ-0,125. Конденсатор переменной емкости С8 — КП-180, он укреплен непосредственно на монтажной плате. Ось конденсатора удлинена, чтобы ручка со шкалой настройки, укрепленная на ней, была снаружи крышки корпуса. Подстроечный конденсатор С1 — КПК-МН с максимальной емкостью 20...30 пФ, оксидные конденсаторы С14, С19 и С20 — К50-6. Остальные конденсаторы могут быть типов К10, КД, КМО, КЛС, БМ.

Выход усилителя 3Ч приемника низкоомный, поэтому подключаемые к нему головные телефоны могут быть как низкоомными (например, ТА-56м), так и высокоомными (ТОН-1, ТА-4).

Закончив монтаж, сверь его с принципиальной схемой приемника, проверь надежность всех контактов, соединений, крепление антенн, батареи питания. Все должно быть механически прочным, иначе приемник может подвести лисолова на соревнованиях. Прочисти все прорези монтажной платы резаком или острием ножа, а участок с деталями цепи затвора полевого транзистора VT1, кроме того, протри тряпочкой, смоченной спиртом или ацетоном.

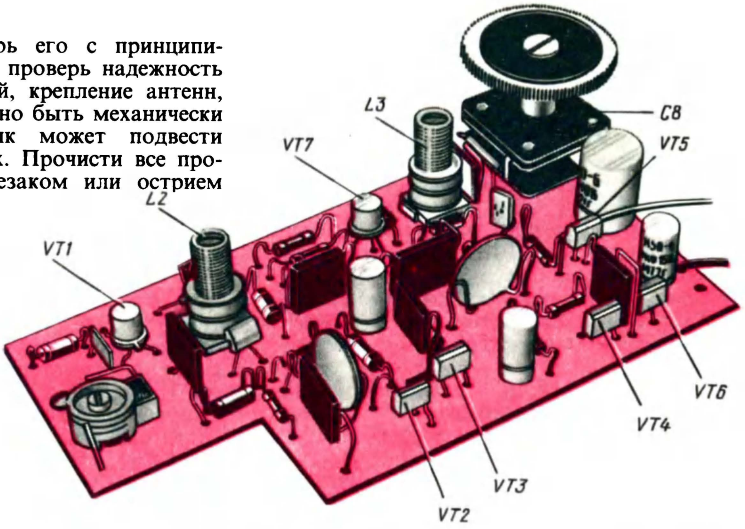
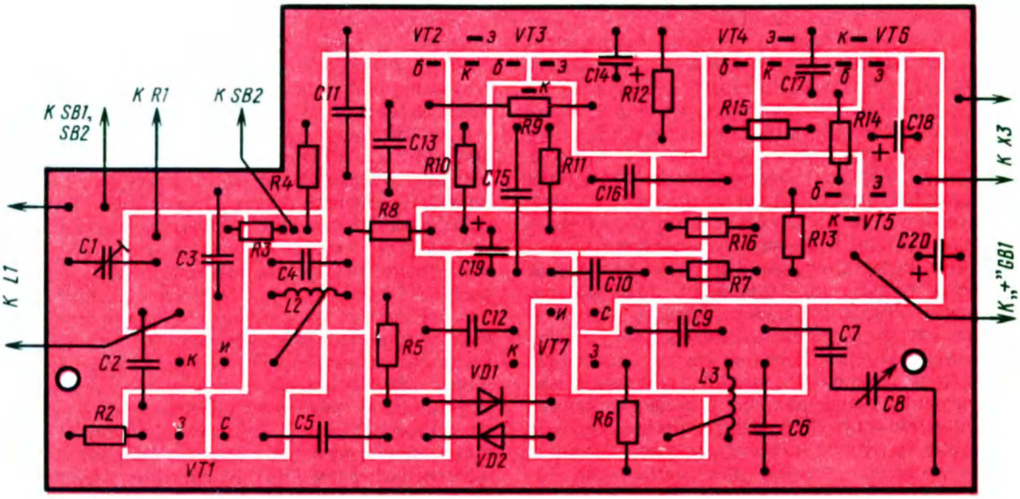

L3
C8
VT7
VT5
L2
VT1
VT6
VT4
VT3
VT2

Рис. 394. Монтажная плата приемника и соединения деталей на ней


VT2
VT3
VT4
VT6
К SB1, SB2
К R1
К SB2
C11
C13
R10
R9
C15
R11
C14
R12
R15
C17
R14
C18
К X3
R4
C16
C1
C3
R3
C4
L2
R8
C19
R16
R13
VT5
C20
К „+" GB1
К L1
C10
R7
C12
VT7
C9
C7
C2
R5
VD1
L3
R2
C5
VD2
R6
C6
C8
VT1

Включив питание, сразу же измерь ток, потребляемый приемником от батареи (милиамперметр можно включить между гнездами 1 и 2 разъема X3 вместо вилки головных телефонов),— он не должен превышать 12 мА. Значительно больший ток может быть только из-за ошибки в монтаже, неисправности выходных транзисторов или оксидных конденсаторов.

Режимы работы транзисторов усилителя ЗЧ устанавливай подбором резисторов R9, R14 и R15. На это время конденсатор C13 на входе усилителя можно отключить от фильтра R5C12. Ориентировочные напряжения на электродах транзисторов, указанные на принципиальной схеме, измерены вольтметром постоянного тока с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В.

Сначала подбором резистора R15 установи на эмиттерах транзисторов VT5 и VT6 напряжение, равное половине напряжения батареи питания, а затем подбором R14 — ток в коллекторной цепи транзистора VT5, равный 0,5...0,6 мА. На время замены резистора R14 питание выключай, иначе выходные транзисторы могут выйти из строя. После этого подбором резистора R9 установи режимы транзисторов VT2 и VT3. Признаком работы усилителя служит фон переменного тока, появляющийся в телефонах при касании базы транзистора VT2.

Далее проверь, работает ли гетеродин. Параллельно конденсатору C10 подключи вольтметр постоянного тока, а затем замкни конденсатор C6 кратковременно пинцетом или отрезком провода. Если гетеродин работает, то напряжение на конденсаторе C10 должно изменяться.

Теперь, пользуясь генератором колебаний радиочастоты, надо установить границы полосы частот, перекрываемой конденсатором C8 гетеродинного контура, и настроить контур L2C4 усилителя РЧ и контур L1C1 рамочной антенны на частоту 3,6 МГц. Делай это в такой последовательности. Восстанови соединение конденсатора C13 с фильтром R5C12. Ротор конденсатора C8 «Настройка» поставь в положение средней емкости, а немодулированный сигнал генератора, настроенного на частоту 3,6 МГц, подай на левый (по схеме) вывод конденсатора C2. Напряжение сигнала генератора не должно быть больше 1 мВ. Вращая подстроечный сердечник катушки L3 контура гетеродина, добейся появления в телефонах звука средней тональности. Чем меньше уровень входного сигнала, тем четче будет прослушиваться в телефонах этот момент.

Может случиться, что добиться требуемой настройки только подстроечным сердечником не удастся. Причиной может быть недостаточная или слишком большая индуктивность гетеродинной катушки. В таком случае перестройкой частоты генератора можно добиться появления звука в телефонах, по его шкале узнать удвоенную частоту гетеродина и таким образом определить, в какую сторону нужно изменять емкость конденсатора C6 для достижения заданной настройки гетеродина.

Границы полосы частот гетеродина определяй по сигналам генератора. Сигнал частотой 3,5 МГц (низкочастотная граница диапазона) должен прослушиваться при наибольшей емкости конденсатора C8, а сигнал частотой 3,65 МГц (высокочастотная граница) — при его наименьшей емкости. Чтобы полосу частот расширить (если это необходимо), емкость конденсатора C7 увеличивай, а чтобы, наоборот, сделать ее более узкой, емкость этого конденсатора уменьшай.

Затем переходи к настройке нагрузочного контура усилителя РЧ и контура рамочной антенны. Сигнал от генератора частотой 3,6 МГц и амплитудой 100...200 мкВ подай на вход приемника, обернув провод от генератора вокруг кольца рамочной антенны два-три раза (связь теперь будет индуктивной). Контур L2C4 настраивай подстроечным сердечником катушки L2, а контур рамочной антенны — подстроечным конденсатором C1. По мере настройки контуров на частоту 3,6 МГц чувствительность приемника и, следовательно, громкость звука в телефонах возрастает. Чтобы возможно точнее уловить момент резонанса, амплитуду сигнала уменьшай постепенно. Настройку этих контуров на среднюю частоту диапазона можно считать законченной, если любое изменение подстроечного сердечника катушки L2 или емкости конденсатора C1 контура рамочной антенны сопровождается снижением громкости звучания телефонов.

Если наибольшая емкость конденсатора C1 окажется недостаточной для точной настройки рамочной антенны на частоту 3,6 МГц, тогда параллельно ему подключи керамический или слюдяной конденсатор емкостью 30...47 пФ и настройку повтори.

Завершающий этап — настройка штыревой антенны W2 для получения диаграммы направленности в форме кардиоиды. Делать это надо по немодулированным сигналам передатчика-лисы с вертикальной антенной на открытом месте и на расстоянии от передатчика 100...150 м. Вблизи не должно быть зданий, железобетонных сооружений и линий электропередачи, поглощающих или рассеивающих энергию радиоволн. На это время согласующий резистор R1 замени переменным или подстроечным резистором с номинальным сопротивлением 5...7,5 кОм. Включи питание, настрой приемник на сигнал передатчика и, поворачивая его вокруг вертикальной оси, убедись, что диаграмма направленности одной рамочной антенны имеет форму восьмерки — достаточно четко выражены острые углы симметричных минимумов. После этого приемник плоскостью рамочной антенны возможно точнее направь на лису, включи (кнопкой SB1) штыревую антенну, а затем поверни приемник на 180°, чтобы сравнить громкость приема лисы с двух направлений. Направь приемник на лису минимумом кардиоиды и переменным резистором добейся минимальной громкости приема. Остается измерить получившееся сопротивление переменного резистора и заменить его постоянным такого же сопротивления. После этого, пользуясь тем же высокочастотным генератором, проградуируй шкалу настройки приемника.

Чувствительность приемника по напряженности поля можно измерить по схеме, показанной на рис. 395. Для этого кроме генератора РЧ потребуются еще милливольтметр перемен-

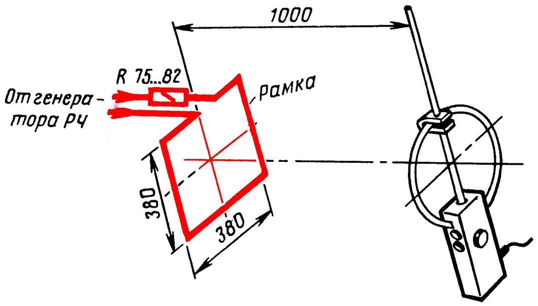


Рис. 395. Схема измерения чувствительности приемника по напряженности поля

ного тока и квадратная рамка со сторонами 380 мм, согнутая из медной проволоки диаметром 3...5 мм. Основой рамки может быть крестовина из сухих древесных планок. Через согласующий резистор R, который должен быть безындукционным (непроволочным), рамку подключи к выходу генератора РЧ. Сначала надо измерить напряжение шума на выходе приемника. Для этого параллельно головным телефонам подключи милливольтметр переменного тока, включи питание и конденсатором настройки C8 найди в рабочем диапазоне (3,5...3,65 МГц) участок, в котором не прослушиваются работающие радиостанции и внешние помехи. Милливольтметр покажет напряжение шума. Нормальным можно считать напряжение шума, равное 0,125...0,15 В для высокоомных телефонов или 0,025...0,05 В — для низкоомных.

Затем, не изменяя настройки, размести приемник относительно рамки так, чтобы плоскости рамки и рамочной антенны были параллельны, а расстояние между их геометрическими центрами равнялось 1 м. Настрой генератор на частоту приемника по максимальному напряжению на головных телефонах и установи аттенюатором генератора такое напряжение сигнала, при котором на телефонах приемника будет напряжение в 10 раз больше напряжения шума. Это напряжение генератора и будет характеризовать чувствительность приемника по напряженности поля. К примеру, если выходное напряжение генератора оказалось равным 20 мкВ, чувствительность приемника составит 20 мкВ/м.

Какие изменения можно внести в приемник и его детали?

Прежде всего — о диодах смесительного каскада, от которых во многом зависит качество приемника. Главное требование, предъявляемое к ним,— возможно малая их емкость. Этому требованию отвечают, например, кремниевые высокочастотные диоды КД509А, КД514А, КДС523А — КДС523Г. Они и могут заменить диоды серии КД503. Подойдут также диоды серий Д104 — Д106, Д223, но с ними чувствительность приемника несколько ухудшится.

В крайнем случае в смесителе можно использовать германиевые диоды серий Д2, Д9, Д18, Д20, Д311, Д312, ГД507 с любым буквенным индексом. Но тогда смеситель следует дополнить С-цепочками, как показано на рис. 396, повышающими эффективность работы диодов. Конденсаторы C′ и C″ должны быть слюдяные или керамические.

Вместо транзисторов КТ315Б можно использовать другие транзисторы этой же серии, а также серий КТ301, КТ312, КТ201 со статическим коэффициентом передачи тока не менее 100. Транзистор КТ361Б можно заменить на любой другой из этой серии или КТ351 с любым буквенным индексом.

Полевые транзисторы КП303А, работающие в усилителе РЧ (VT1) и гетеродине (VT7), можно заменить любыми другими этой серии. Замена их биполярными транзисторами нецелесообразна из-за возможного ухудшения селективности и стабильности работы приемника.

Регулировка громкости может быть не ступенчатой, а плавной. Эту задачу нетрудно решить включением переменного резистора (R′ на рис. 397) во входную цепь транзистора VT4 предоконечного каскада. Резистор может быть типа СПО-0,15 или СПО-0,5 с номинальным сопротивлением 15...20 кОм.

Для питания приемника можно также использовать «Крону» или аккумуляторную батарею 7Д-0,1. Но тогда придется подобрать режим работы транзисторов фазоинверсного и выходного каскадов. Напряжение на эмиттерах выходного каскада устанавливай подбором резистора R15, а ток покоя (2...3 мА) — подбором R14.

При использовании нового источника питания выходной разъем X3 лучше разместить

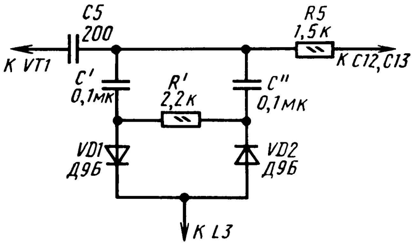


Рис. 396. Схема замены диодов смесителя

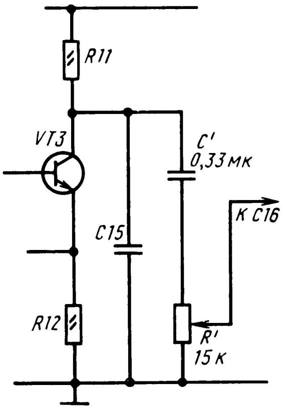


Рис. 397. Схема плавной регулировки громкости

на нижней торцовый стенке корпуса — удобнее будет пользоваться приемником.

НА СОРЕВНОВАНИЯХ

Успех в соревнованиях по «охоте на лис» зависит не только от пеленгационных качеств приемника, но и от того, как охотник освоил это свое «оружие» и пользуется им. Поэтому дать готовый рецепт, как искать и обнаруживать лис, нельзя. Можно лишь, опираясь на опыт, дать некоторые советы.

Прежде всего перед соревнованиями ты должен тщательно проверить свой приемник, подстроить антенну, если в этом появится необходимость. Питающая батарея должна быть свежей, иначе приемник может тебя подвести.

На старте тебе вручат карту. или план местности с пометкой старта и контрольный билет, на котором судьи при лисах будут отмечать время их нахождения тобой. Контрольный билет — это основной документ охотника. Потеряешь его — тебе не засчитают прохождение трассы, даже если ты быстрее других пробежал ее. Приемник ты включишь только после того, как пробежишь стартовый коридор — идущую от старта в лес или кустарник дорожку, обозначенную флажками. Раньше нельзя — так установлено в «Положении о соревнованиях». Число лис на трассе и порядок поиска их тебе известны*. Значит, остановившись в конце стартового коридора, ты должен внимательно послушать всех лис и определить их азимуты (рис. 398). Эти данные полезно нанести на карту. Особенно тщательно надо определить направление на ту лису, которую ты будешь искать первой.

Определять направление на лису начинай с нахождения прямой, на которой она находится. Это делают обычно по минимуму диаграммы направленности рамочной антенны, т. е. по минимальной громкости приема. Затем, повернувшись лицом в сторону одного из возможных направлений, включи штыревую антенну и тут же направь максимум кардиоиды попеременно вперед и назад. Сравнивая уровни громкости сигналов лисы, ты тем самым определишь направление, в котором надо бежать,— туда, куда «смотрит» максимум кардиоиды. И все это надо успеть за минуту, пока работает лиса.

Заметив время окончания работы лисы, отключи штыревую антенну и беги в сторону лисы. Как только она снова начнет работать, проверь направление на нее по минимуму рамочной антенны. Штыревую антенну включай всякий раз, когда надо уточнить направление на лису, например когда пробежал ее и направление на нее изменилось.

По мере приближения к лисе направление на нее как бы «размазывается», становится менее ощутимым на слух. В это время надо снизить чувствительность приемника или убавить громкость и быть особенно внимательным и наблюдательным — ведь лиса может быть совсем рядом! Иногда полезно бывает пробежать лису, чтобы затем, уточнив обратное направление,

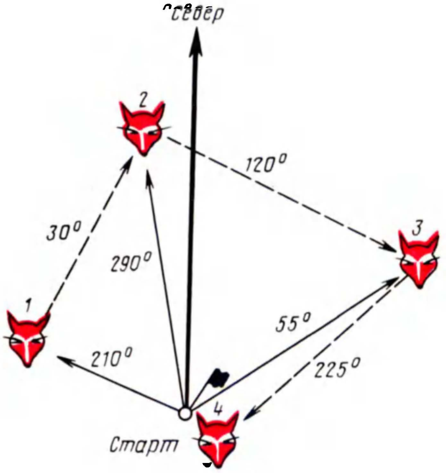


Рис. 398. Схема возможного размещения и поиска лис на трассе

---

* На соревнованиях опытных спортсменов порядок поиска лис произвольный, что усложняет поиск их и прохождение всей трассы. На соревнованиях школьников порядок поиска лис обычно сообщают перед стартом или на старте.

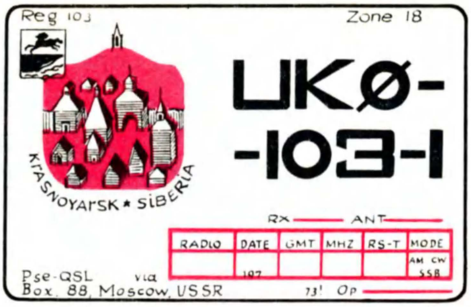


Рис. 399. QSL-карточка коротковолновика-наблюдателя

быстро обнаружить ее. Судья при лисе сделает на твоем контрольном билете соответствующую отметку. Теперь ты снова должен решать все те задачи, о которых я тебе рассказывал здесь, но уже в направлении на следующую лису.

В зависимости от общей протяженности трассы и числа лис на ней для участников соревнований устанавливают контрольное время. Это максимальное время, в течение которого участник может искать лис и прибыть на финиш. Если охотник где-то допустил ошибку и сбился с правильного направления, а контрольное время еще не вышло, он имеет право вернуться на старт и снова начать поиск лис.

Все эти и многие другие тонкости тактики и техники поиска лис ты узнаешь уже в ходе первых соревнований по этому увлекательному виду радиоспорта.

РАДИОСПОРТСМЕНЫ-КОРОТКОВОЛНОВИКИ

В диапазонах КВ и УКВ есть участки волн, где идут оживленные разговоры между радиолюбителями разных городов и сел, стран, континентов. Бывают дни, когда в эфире между ними идет дружеская борьба за право считаться сильнейшим, получить спортивный разряд, диплом, звание мастера этого вида радиоспорта. Соревнуются люди разных возрастов и профессий. Среди них есть и твои сверстники. Побеждает тот, кто лучше знает радиоэлектронику, кто хорошо владеет техникой радиопередачи и радиоприема.

Путь в этот вид радиоспорта открыт и для тебя.

Для двусторонней любительской радиосвязи надо иметь радиостанцию — передатчик и приемник, настраиваемые на одни и те же частоты. Антенна — общая для передатчика и приемника. Во время передачи радиоспортсмен подключает ее к выходу передатчика, а во время приема — к входу приемника. Таким образом, когда спортсмен работает на своей радиостанции, его слушает товарищ по эфиру. Закончив сообщение, он переключает антенну на вход приемника — переходит на прием. Его же корреспондент в это время переключает антенну своей станции с приемника на передатчик. Теперь он передает какие-то сведения, адресуемые первому спортсмену. Так между ними устанавливается двусторонняя любительская радиосвязь телефоном, т. е. разговорной речью.

Связь может быть телеграфом, когда вызов корреспондента и обмен с ним сообщениями происходит знаками телеграфной азбуки. В таких случаях содержание сообщений кодируется телеграфным ключом. В результате в эфир излучаются импульсы немодулированных электромагнитных колебаний, соответствующие звучанию точек и тире.

Любительские радиостанции могут быть как коллективными, например спортивно-технических клубов общеобразовательных школ, ПТУ, техникумов, станций юных техников, так и индивидуальными. Каждой радиостанции присваивается позывной — своеобразный адрес, состоящий из нескольких букв латинского алфавита и цифр между ними. Например, UY5AG (телефоном звучит так: Ульяна, игрек, пятерка, Анна, Георгий). Первые две буквы характеризуют принадлежность станции к той или иной стране, цифра — район внутри страны, последние две буквы — закодированная «фамилия» данной станции.

Опытный радиоспортсмен по позывному станции мгновенно расшифрует ее адрес. Что же касается других деталей, касающихся ее оператора, об этом он узнает, получив от него QSL-карточку — квитанцию, подтверждающую состоявшуюся встречу в эфире.

Но путь в этот увлекательный вид радиоспорта можно начинать с наблюдения за работой других радиоспортсменов. Для этого надо иметь только приемник. Его владельцу тоже присваивается позывной наблюдателя, и он обменивается QSL-карточками (рис. 399) с теми спортсменами, разговор которых он слушал в эфире.

В радиочастотном диапазоне КВ радиоспортсменам выделено несколько сравнительно узких (по частоте) участников — любительских диапазонов: 10-метровый (28...29,7 МГц), 14-метровый (21...21,45 МГц), 20-метровый (14...14,35 МГц), 40-метровый (7...7,1 МГц) и 80-метровый (3,5...3,65 МГц). А в 1979 г. специально для начинающих радиоспортсменов в возрасте от 14 лет Государственной комиссией по радиочастотам выделен еще один любительский диапазон радиочастот — 160-метровый (1850...1950 кГц). Его так и называют: диапазон начинающих. Но он популярен и среди опытных коротковолновиков. В этом диапазоне радиочастот можно работать телефоном с амплитудной модуляцией, телеграфом и телефоном с однополосной модуляцией. Первый из этих видов излучения называют сокращенно AM, второй CW (си-даблью), третий SSB (эс-эс-би). С освоения этого диапазона обычно и начинает свой путь в эфир радиоспортсмен-коротковолновик.

Первый этап на этом пути — накопление опыта наблюдения за ведением любительских связей других радиоспортсменов, освоение техники приема и передачи телеграфной азбуки. Позывной коротковолновика тебе выдаст местный спортивно-технический клуб или отделением инспекции электросвязи. А позже, когда наблюдения за эфиром, ведение аппаратного журнала и обмен QSL-карточками станут для тебя привычным делом, можно будет подумать и о постройке передатчика для работы в эфире.

ПРИЕМНИК НАЧИНАЮЩЕГО КОРОТКОВОЛНОВИКА-НАБЛЮДАТЕЛЯ

Каким может быть этот первый приемник радиолюбителя-коротковолновика? Расскажу о двух путях решения этой задачи.

Первый путь. Для приема любительских радиостанций, работающих в 160-метровом диапазоне, можно приспособить недорогой радиовещательный супергетеродин, имеющий диапазон СВ. Например, приемник «Альпинист-407», с которым я знакомил тебя в тринадцатой беседе, или любой другой супергетеродин IV класса, в котором можно было бы разместить дополнительные небольшие монтажные платы и переключатели, не нарушая нормальной работы приемника. Для этого надо только ввести в его входную цепь новый колебательный контур и вмонтировать гетеродин, что позволит вести прием любительских станций, работающих не только телефоном с амплитудной модуляцией (AM), но и телеграфом (CW) и однополосной модуляцией (SSB).

В чем суть такой доработки радиовещательного приемника? Ты знаешь, что в вещательном супергетеродине сигнал принимаемой станции $f_с$ преобразуется в сигнал промежуточной частоты 465 кГц, на которой и происходит основное усиление. Настройка его на ту или иную радиостанцию определяется не входным контуром, как в приемнике прямого усиления, а частотой гетеродина.

При данной частоте гетеродина прием возможен на двух частотах: $f_{с1}=f_{гет}+465$ кГц и $f_{с2}=f_{гет}-465$ кГц. Выбор конкретной частоты определяется входными контурами приемника, которые подавляют сигналы по неиспользуемой частоте. Ее называют зеркальной, а сам параметр — подавление сигналов по зеркальной частоте (или по зеркальному каналу) — является одним из самых важных для супергетеродинного приемника.

У радиовещательных приемников в диапазоне средних волн гетеродин обычно настраивают на более высокую частоту по сравнению с принимаемым сигналом (т. е. $f_{гет}=f_с+465$ кГц). Легко убедиться, что в этом случае частоты, соответствующие любительскому диапазону 160 м, будут зеркальными по отношению к участку диапазона СВ. Действительно, для приема станции наиболее низкочастотного участка диапазона 160 м (около 1850 кГц) частота гетеродина должна быть 1385 кГц (1850 − 465 = 1385), а для приема в высокочастотном участке (около 1950 кГц) − 1485 кГц (1950 − 465 = 1485). Эти частоты перекрывает гетеродин вещательного приемника при работе в диапазоне СВ на участке 920...1020 кГц.

Таким образом, для приема любительских станций в диапазоне 160 м достаточно установить в приемник новый входной контур, пропускающий полосу частот 1850...1950 кГц. При этом «сердце» приемника — его гетеродин не затрагивается. Правда, любительский диапазон в этом случае займет лишь незначительную часть шкалы, но для начала это вполне приемлемо.

В модернизированном «Альпинисте-407», показанном на рис. 400, на передней панели слева установлен переключатель, которым супергетеродин переводят на прием любительских станций (переключатель диапазонов должен находиться в положении «СВ»). Участок частот любительского диапазона на шкале можно выделить цветной рамкой. На правой боковой стенке корпуса находится выключатель второго гетеродина. Прием ведется на наружную антенну при подключенном заземлении.

На вход преобразователя частоты такого или аналогичного ему приемника надо включить новую катушку связи с контуром, настроенным на частоту 1950 кГц — среднюю частоту 160-метрового любительского диапазона. Схема цепей этого участка приемника приведена на рис. 401, *а*. На ней, как и на следующих рисунках, новые детали выделены цветом и их позиционные обозначения помечены штрихом. Переключатель SA1′ в положении «160 м» отключает от конденсатора C12 проводник, идущий к переключателю диапазонов SA1 (см. схему «Альпиниста-407» на рис. 246), и подключает к нему катушку связи

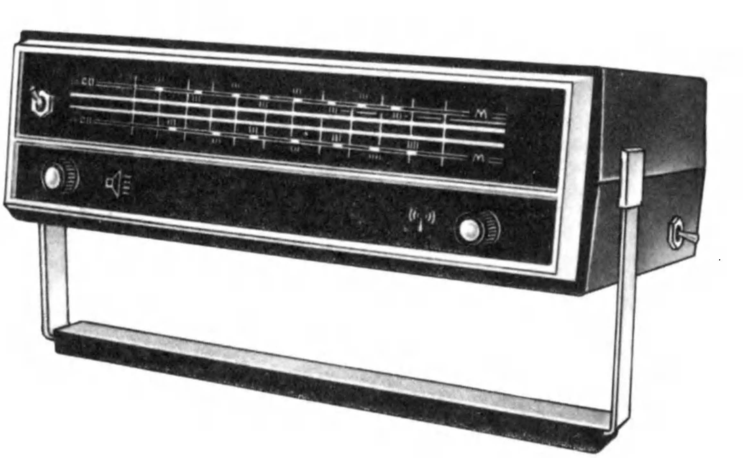


Рис. 400. Приемник коротковолновика-наблюдателя на базе «Альпиниста-407»

L1′. Резистор R1′, шунтирующий контур, расширяет полосу его пропускания до 100 кГц. Верхний (по схеме) вывод катушки связи L1′ соединяют непосредственно с гнездом X1 внешней антенны, а отвод от нее и контур — через конденсатор C2′ с общим плюсовым (а не с «заземленным» минусовым) проводником цепи питания.

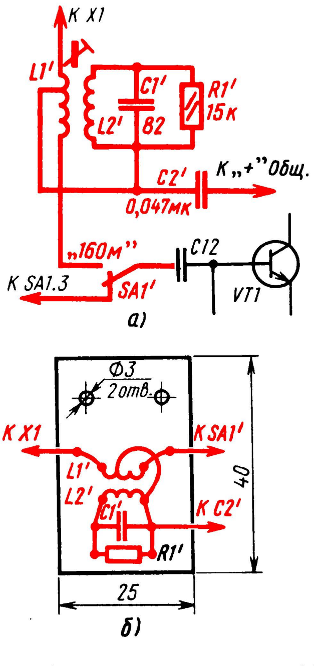


Рис. 401. Схема (*а*) и плата (*б*) входного контура

В доработанном приемнике в качестве катушек L1′ и L2′ использованы гетеродинные катушки диапазона СВ радиолы «Латвия». Они намотаны на четырехсекционном каркасе с подстроечником диаметром 3 и длиной 12 мм из феррита М600НН и содержат соответственно 25 и 34 × 3 витков провода ПЭВ-1 0,12. Отвод в катушке L1′ надо сделать от 8-го витка. Вообще же пригодны гетеродинные катушки диапазона СВ от любого другого супергетеродина, надо лишь сделать отвод в катушке обратной связи примерно от третьей части ее витков.

Катушки, конденсатор C1′ и резистор R1′ смонтированы на стеклотекстолитовой плате (рис. 401, *б*), которая двумя винтами М2,5 с гайками укреплена на стойке, удерживающей магнитную антенну, рядом с монтажной платой супергетеродина (рис. 402). Конденсатор C2′

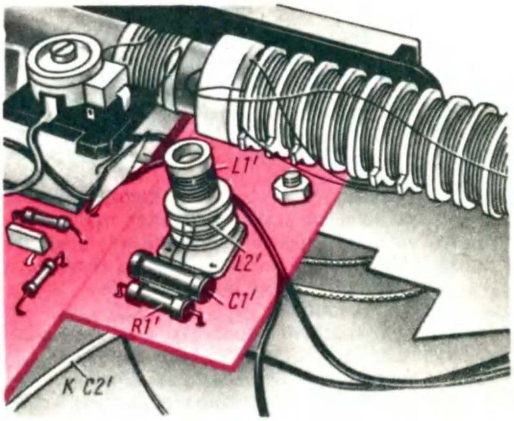


Рис. 402. Монтаж входного контура в приемнике «Альпинист-407»

соединен с винтом, крепящим корпус блока КПЕ приемника к монтажной плате. Переключатель SA1′ (тумблер МТ1) укреплен на передней панели приемника слева от шкалы.

Контур L2′C1′ настраивают на частоту 1950 кГц подстроечником катушки, добиваясь наиболее громкого приема сигналов одной из станций, работающей в середине участка любительского диапазона.

Второй гетеродин представляет собой генератор, частота колебаний которого должна быть на 800...1000 Гц больше промежуточной частоты супергетеродина. Одновременно с включением второго гетеродина система автоматического регулирования усиления (АРУ) должна быть отключена.

Схема второго гетеродина и коммутации цепи АРУ приемника показаны на рис. 403, *а*. Гетеродин собран на транзисторе VT1′ по схеме с индуктивной обратной связью. Его частоту определяет контур L3′C3′. Через конденсатор C6′ колебания с гетеродина подаются на вход детектора приемника (диод VD1), где они смешиваются с сигналом ПЧ, поступающим с выхода усилителя ПЧ через катушку связи L16.

Резистор R3′ и конденсатор C2′ образуют фильтр, препятствующий проникновению колебаний второго гетеродина в цепь питания приемника.

В положении переключателя SA2′, показанном на рис. 403, *а*, напряжение питания гетеродина отключено, а сигнал АРУ, снимаемый с нагрузки детектора, через резистор R8 подается в базовую цепь транзистора первого каскада усилителя ПЧ. Чтобы не нарушать режим транзистора усилителя ПЧ по постоянному току при отключенной АРУ, к резистору R8 вместо выходной цепи детектора подключается резистор R2′.

Детали второго гетеродина смонтированы на плане из стеклотекстолита (рис. 403, *б*). Катушки L3′ и L4′, использованные в нем,— трансформатор ПЧ от приемника «Сокол» (или любого другого аналогичного супергетеродина). Конденсаторы — КЛС, К10, резисторы МЛТ.

Чтобы проверить, работает ли гетеродин, надо в его цепь питания включить миллиамперметр и кратковременно замкнуть выводы катушки L4′. В этот момент ток, потребляемый каскадом, должен несколько возрасти. Если этого не произошло, значит, гетеродин не возбуждается. Следует поменять местами подключение выводов одной из его катушек.

Плата второго гетеродина размещена снизу печатной платы приемника под деталями входных цепей усилителя ЗЧ (рис. 404), а переключатель SA2′ (тумблер МТ3) — на правой боковой стенке корпуса. Под плату подложена изолирующая прокладка из полиэтиленовой пленки. Проводники цепи питания и конденсатор C6′ подключены к соответствующим печатным проводникам платы приемника.

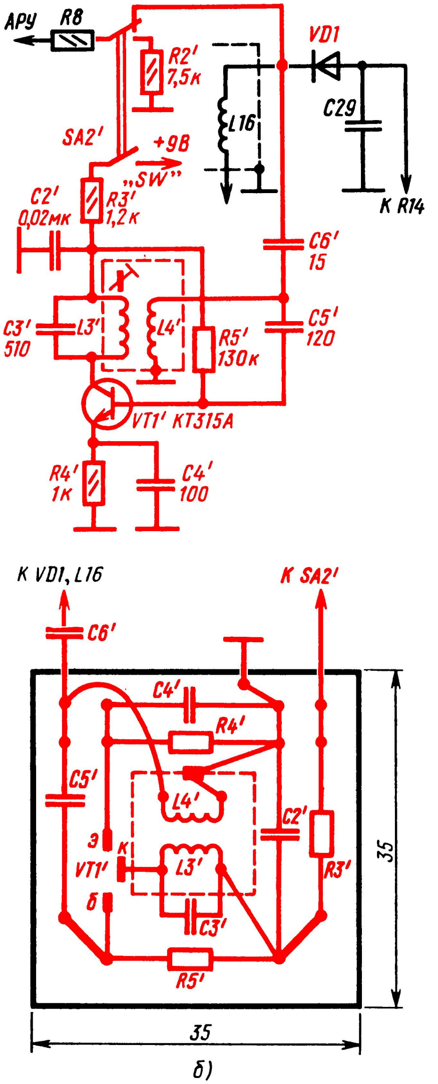


Рис. 403. Схема (*а*) и плата (*б*) второго гетеродина

Для отключения системы АРУ печатный проводник, идущий от точки соединения диода VD1 и резистора R14, надо осторожно разрезать острием ножа на ширину 1,5...2 мм, зачи-

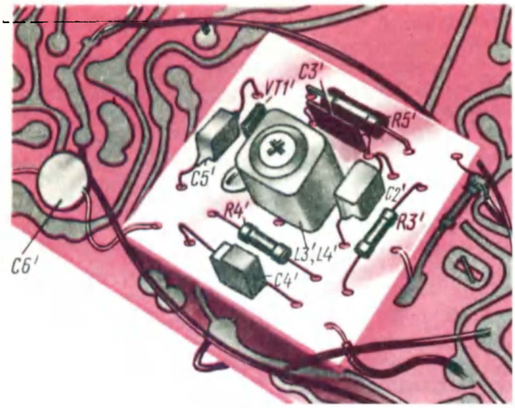

VT1'
C3'
R5'
C5'
C2'
R3'
R4'
L3',L4'
C4'
C6'

Рис. 404. Монтаж второго гетеродина

стить образовавшиеся концы и припаять к ним проводники, идущие от переключателя SA2'.

Необходимую частоту колебаний второго гетеродина устанавливают подстроечником контурной катушки. Делают это так. Сначала немного вывинчивают сердечник из каркаса катушки, включают гетеродин и настраивают приемник на какую-либо вещательную радиостанцию. Затем медленно ввинчивают сердечник до появления в динамической головке звука частотой 850...1000 Гц. Подстроечник следует закрепить в этом положении каплей клея.

На этом доработку и подготовку супергетеродина к приему сигналов станций в любительском 160-метровом диапазоне можно считать законченной.

Схемы и конструкции большей части переносных супергетеродинов мало чем отличаются друг от друга. Следовательно, практические советы, данные здесь применительно к «Альпинисту-407», приемлемы и для других подобных супергетеродинов. Надо только внимательно разобраться в схеме и конструктивных особенностях приобретенного приемника, в его деталях, печатной плате, после чего уверенно приступать к доработке.

Второй путь к ведению наблюдений за работой радиоспортсменов в диапазоне 160 м — конструирование приемника, рассчитанного на этот любительский диапазон.

Рекомендую для повторения приемник коротковолновика-наблюдателя, разработанный московским радиоспортсменом-конструктором В. Поляковым (RA3AAE).

Принципиальная схема этого приемника супергетеродинного типа приведена на рис. 405. Основные устройства приемника: смесительный каскад на двухбазовом полевом транзисторе VT1, первый гетеродин на транзисторе VT2, усилитель ПЧ на полевом транзисторе VT3 и аналоговой микросхеме DA1, детектор смесительного типа на полевом транзисторе VT4, второй гетеродин на транзисторе VT5, усилитель ЗЧ на аналоговой микросхеме DA2 и транзисторах VT6, VT7. Источник питания напряжением 9...12 В подключают к гнездам X4 и X5. Максимальный ток, потребляемый приемником от источника питания, не превышает 50 мА.

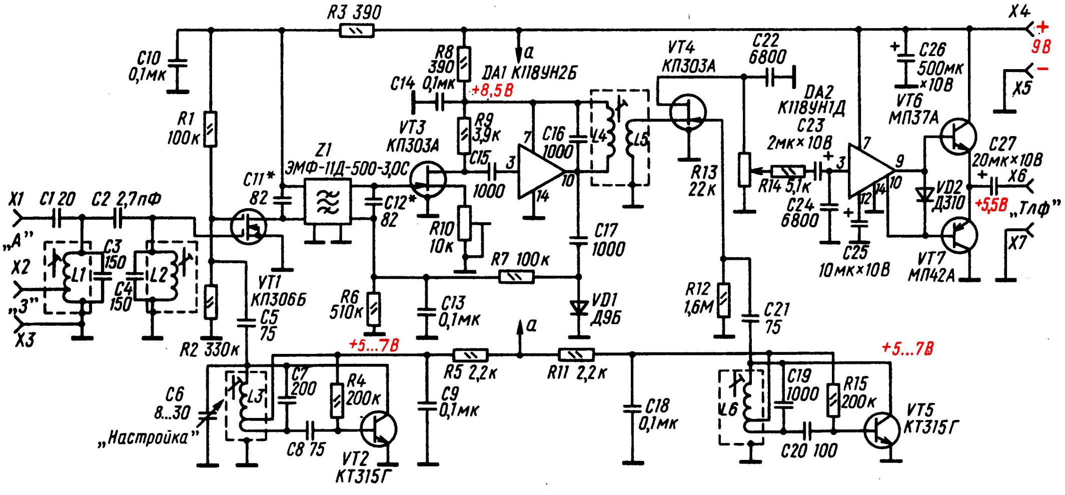

R3 390
C10 0,1мк
R1 100к
R2 330к
X1
C1 20
C2 2,7пФ
„А"
X2
„З"
X3
C3 150
C4 150
L1
L2
C11* 82
VT1 КП306Б
C5 75
Z1 ЭМФ-11Д-500-3,0С
C12* 82
R8 390
C14 0,1мк
+8,5В
a
DA1 К118УН2Б
VT3 КП303А
R9 3,9к
C15 1000
R10 10к
R6 510к
C13 0,1мк
R7 100к
C16 1000
7
3
10
14
C17 1000
VD1 Д9Б
C6 8...30
„Настройка"
L3
C7 200
R4 200к
C8 75
VT2 КТ315Г
+5...7В
R5 2,2к
C9 0,1мк
R11 2,2к
C18 0,1мк
L4
L5
VT4 КП303А
C22 6800
R13 22к
R12 1,6М
C21 75
DA2 К118УН1Д
C23 2мк×10В
R14 5,1к
C24 6800
C25 10мк×10В
9
12
VD2 Д310
VT6 МП37А
VT7 МП42А
C26 500мк ×10В
C27 20мк×10В
+5,5В
X4
+
9В
−
X5
X6
„Тлф"
X7
L6
C19 1000
R15 200к
C20 100
VT5 КТ315Г

Рис. 405. Принципиальная схема приемника коротковолновика-наблюдателя диапазона 160 м

Антенной приемника может служить отрезок провода длиной 15...20 м (значительно меньше четверти длины радиоволны), а также четвертьволновый «луч» (длиной около 40 м), диполь или «дельта» с фидером из коаксиального кабеля. Первую из этих антенн подключают к входному контуру L1C3 через гнездо X1 и конденсатор C1, другие — к отводу катушки L1 через гнездо X2. Заземление, противовес или оплетку фидера антенны подключают к гнезду X3, соединенному с общим проводом приемника. Способ подключения каждой антенны подбирают опытным путем по максимальной громкости и качеству радиоприема.

Катушки L1, L2 совместно с конденсаторами C2 — C4 образуют входной двухконтурный полосовой фильтр, обеспечивающий приемнику хорошую селективность (избирательность) по зеркальному каналу приема. Он практически устраняет помехи от мощных радиовещательных станций диапазона СВ. Выделенный фильтром сигнал любительской станции поступает на первый затвор полевого транзистора VT1. А на второй его затвор поступает (через конденсатор C5) напряжение первого гетеродина. Промежуточная частота около 500 кГц, являющаяся разностью частот гетеродина и принятого сигнала, выделяется в стоковой цепи транзистора контуром, образованным входной обмоткой электромеханического фильтра (ЭМФ) Z1 и конденсатором C11. Делитель R1, R2 создает на втором затворе смесительного транзистора необходимое напряжение смещения.

Транзистор VT2 первого гетеродина включен по схеме индуктивной трехточки. Его колебательный контур образуют катушка индуктивности L3 и конденсаторы C6 — C8. Конденсатором переменной емкости C6 частоту гетеродина можно изменять в пределах 2330...2430 кГц, что соответствует настройке приемника во всем участке любительского диапазона 160 м. Развязывающие ячейки R3C10 и R5C9 препятствуют проникновению в общую цепь питания колебаний гетеродина и промежуточной частоты.

Фильтр Z1 выполняет основную селекцию сигналов любительских станций. С его выходной обмотки, образующей с конденсатором C12 колебательный контур, настроенный на промежуточную частоту, выделенный сигнал поступает на вход усилителя ПЧ. Работающая в нем микросхема К118УН2Б (DA1) представляет собой каскодный усилитель. Подстроечный резистор R10, включенный в истоковую цепь транзистора VT3, позволяет опытным путем устанавливать оптимальное усиление сигнала в тракте ПЧ. С увеличением его сопротивления уменьшается ток через транзистор и, следовательно, крутизна его переходной характеристики. Одновременно увеличивается глубина отрицательной обратной связи, снижающая усиление сигнала.

В усилитель ПЧ введена простейшая система АРУ, защищающая его от перегрузки сильными входными сигналами. Для этого напряжение ПЧ с выходного контура L4C16 усилителя подается через конденсатор C17 на диод VD1. Продетектированное им напряжение в отрицательной полярности поступает через ячейку R7C13 на затвор транзистора VT3 и подзакрывает его. Чем сильнее принятый сигнал, тем больше напряжение, закрывающее транзистор, тем значительнее снижение усиления сигнала ПЧ.

Напряжение источника питания на транзистор и микросхему усилителя ПЧ подается через развязывающую ячейку R8C14.

С контура L4C16 усиленный сигнал ПЧ поступает через катушку связи L5 на сток полевого транзистора VT4, работающего как детектор приемника. Одновременно на затвор этого транзистора поступает напряжение второго гетеродина на транзисторе VT5. Резистор R12 и конденсатор C21 в этой цепи создают необходимое отрицательное напряжение на затворе транзистора благодаря детектирующим свойствам его p-n перехода. Положительные полуволны напряжения второго гетеродина открывают транзистор VT4, в результате чего сопротивление его канала (участок исток — сток) уменьшается, а отрицательные полуволны, наоборот, закрывают транзистор, отчего сопротивление канала резко возрастает. Транзистор, таким образом, работает в режиме управляемого активного сопротивления. В результате в цепи его канала возникает ток биений со звуковыми частотами, соответствующими разности частот входных сигналов и второго гетеродина. Спектр однополосного сигнала переносится с промежуточной частоты в область звуковых частот, которые сглаживаются конденсатором C22 и далее через регулятор громкости R13 поступают на вход усилителя ЗЧ.

Второй гетеродин на транзисторе VT5 подобен первому гетеродину приемника. Разница между ними заключается лишь в параметрах некоторых деталей.

В усилителе ЗЧ работают знакомые тебе микросхема из серии К118 и двухтактный усилитель мощности на германиевых транзисторах VT6 и VT7 разной структуры. Диод VD2 уменьшает искажения типа «ступенька». Резистор R14 и конденсатор C24 на входе усилителя ЗЧ служат для подавления колебаний ПЧ.

Нагрузкой усилителя ЗЧ могут быть как низкоомные, так и высокоомные головные телефоны и даже динамическая головка мощностью 0,25...0,5 Вт со звуковой катушкой сопротивлением не менее 4 Ом. При использова-

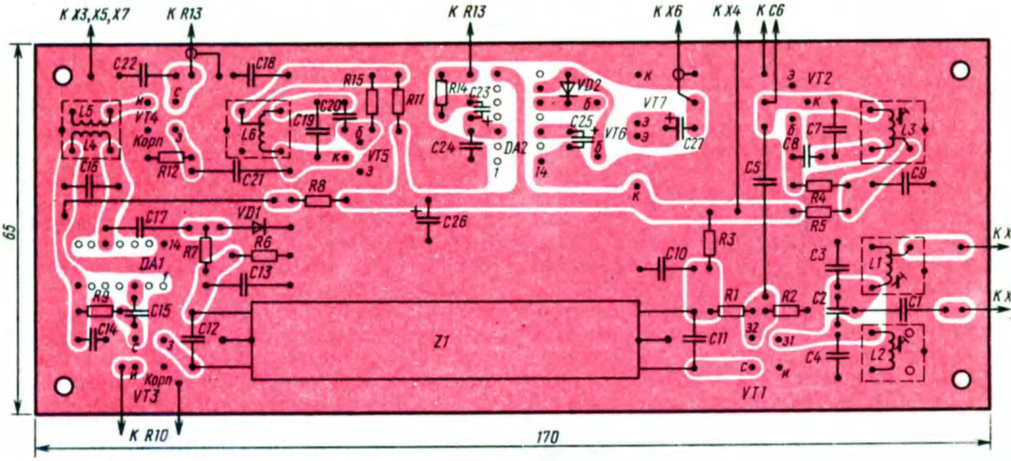


Рис. 406. Монтажная плата приемника

нии динамической головки емкость конденсатора C27 должна быть 100...200 мкФ, чтобы не ослаблять воспроизведение низших звуковых частот.

Для питания приемника подойдет любой сетевой блок питания, обеспечивающий постоянное напряжение 9...12 В при токе до 40...50 мА. При работе на высокоомные головные телефоны потребляемый ток не превышает 10 мА. В таком случасе для питания приемника можно использовать две-три батареи 3336, соединив их последовательно. Все детали приемника, кроме разъемных соединений, конденсатора настройки C6, регуляторов громкости и источника питания, размещены на печатной плате размерами 170 × 65 мм, выполненной из фольгированного стеклотекстолита (рис. 406). С целью повышения стабильности работы приемника и устойчивости к самовозбуждению площадь фольги, образующей общий провод, оставлена максимальной.

Мощность рассеяния постоянных резисторов — 0,125 или 0,25 Вт. Конденсаторы постоянной емкости, используемые в высокочастотных цепях (C1 — C9, C11, C12, C15 — C17, C19 — C21), — керамические типа КД, КТ, КМ, КЛС, К10-7 или слюдяные КСО, пленочные ПО. Роль конденсатора C2 может выполнять отрезок провода диаметром 0,8...1 мм с намотанными на нем 10 — 15-ю витками провода ПЭЛШО 0,25. Его емкость подгоняют путем увеличения или уменьшения числа витков во второй обкладке, после чего их закрепляют клеем или лаком.

В колебательных контурах гетеродинов приемника желательно использовать конденсаторы с малым температурным коэффициентом емкости (ТКЕ), т. е. группы П33, М47 или М75. Остальные конденсаторы постоянной емкости, в том числе и оксидные, могут быть любого типа.

Функцию конденсатора настройки C6 выполняет подстроечный конденсатор с воздушным диэлектриком (КПВ), состоящий из пяти статорных и шести роторных пластин. С таким конденсатором диапазон перестройки получается равным 100 кГц. При бо́льшем диапазоне перестройки затрудняется настройка на сигналы станций, работающих в режиме SSB. Если такого конденсатора нет, то можно использовать одну секцию малогабаритного КПЕ транзисторного радиовещательного приемника, включив последовательно с ним «растягивающий» конденсатор емкостью 47...51 пФ.

Переменный резистор R13 — СП-I (желательно с функциональной характеристикой В), подстроечный резистор R10 — СП5-16Б или любой другой малогабаритный.

Транзистор VT1 может быть любым из серий КП306, КП350. Транзисторы VT2 и VT5, работающие в гетеродинах, могут быть серий КТ306, КТ312, КТ315, КТ316 с любыми буквенными индексами.

Транзистор VT3 усилителя ПЧ может быть любым из серии КП303, КП305. Но при использовании транзистора с большим напряжением отсечки (буквенные индексы Г, Д, Е) последовательно с подстроечным резистором R10 в истоковой цепи надо будет включить постоянный резистор сопротивлением 330...470 Ом и зашунтировать его конденсатором емкостью 0,01...0,1 мкФ.

Микросхемы К118УН2Б (DA1) и К118УН1Д (DA2) заменимы аналогичными им микросхемами серии К122 (см. с. 137).

При монтаже полевых транзисторов необходимо защищать их от возможного пробоя статическим электричеством и напряжениями различных наводок. Для этого их выводы замыкают между собой отрезком тонкого оголенного проводника, который после монтажа удаляют. На это время корпус паяльника соединяют с общим печатным проводником платы, а его вилку питания вынимают из сетевой розетки.

Для приемника подойдет любой электромеханический фильтр со средней частотой 460...500 кГц и полосой пропускания 2,1...3,1 кГц, например ЭМФ-11Д-500-3,0 или ЭМФ-9Д-500-3,0 с буквенными индексами В, Н, С. Буквенный индекс указывает, какую полосу относительно несущей данный фильтр выделяет — верхнюю (В) или нижнюю (Н) или же частота 500 кГц приходится на середину (С) полосы пропускания. Для описываемого приемника это не имеет значения, так как в процессе налаживания частоту второго гетеродина устанавливают на 300 Гц ниже полосы пропускания фильтра, и в любом случае будет выделяться верхняя боковая полоса частот.

Для катушек L1, L2, L3 и L6 использованы каркасы с подстроечными сердечниками и экранами от контуров ПЧ транзисторных супергетеродинов IV класса (в частности, от приемника «Альпинист»). Каркас такой конструкции и его детали показаны на рис. 407. Провод катушки индуктивности наматывают равномерно в секциях каркаса 3. Затем на каркас поверх обмотки надевают цилиндрический высокочастотный магнитопровод 2, вводят в каркас подстроечник 1 с винтовой пробкой и заключают конструкцию в алюминиевый экран размерами 12 × 12 × 20 мм.

Катушки наматывают многожильным проводом ЛЭ 4 × 0,07 или самодельным «литцендратом» из нескольких отрезков провода ПЭВ-1 0,07...0,08 (см. с. 125). Для катушки L3 контура первого гетеродина можно использовать провод ПЭВ-1 0,17...0,25.

Катушки L1 и L2 входных контуров содержат по 62 витка; отвод катушки L1 сделан от 15-го витка, считая от нижнего (по схеме) вывода. Катушка L3 первого гетеродина должна содержать 43 витка с отводом от 9-го витка, а L6 второго гетеродина — 86 витков с отводом от 15-го витка, также считая от нижнего (по схеме) вывода.

Катушка L4 контура ПЧ и ее катушка связи L5 в приемнике использованы без переделки: L4 содержит 86 витков провода ЛЭ 4 × 0,07, а L5 — 15 витков провода ПЭЛШО 0,1.

Для контурных катушек приемника можно, конечно, использовать унифицированные каркасы с другими магнитопроводами и экранами. Но тогда надо будет опытным путем уточнить число витков в катушках. Например, в случае намотки катушек в броневых сердечниках типа СБ-9 число витков в них следует уменьшить на 10%.

Внешний вид приемника и размещение в его корпусе монтажной платы, других деталей показаны на рис. 408. Корпус с внешними размерами 60 × 180 × 110 мм конструктивно такой же, как корпус цифрового частотомера (см. рис. 311). На лицевой панели, которую прикрывает декоративная накладка, находятся конденсатор настройки С6, регулятор громкости R13 и гнезда для подключения головных телефонов или динамической головки. Гнезда для подключения антенны, источника питания и регулятор усиления R10 размещены на задней стенке корпуса. По окружности ручки настройки приемника наклеена шкала с разметкой частот диапазона 160 м, а на самой ручке сделана ориентировочная риска. Вообще же конденсатор С6 полезно оснастить простейшим верньерным

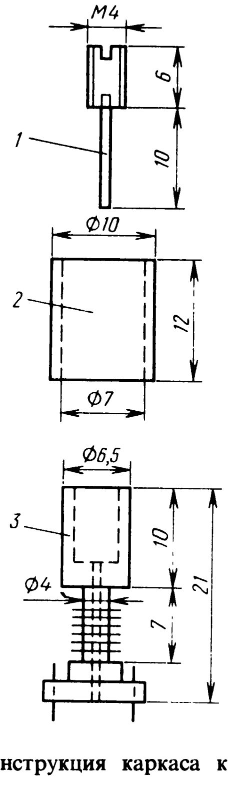


Рис. 407. Конструкция каркаса катушек

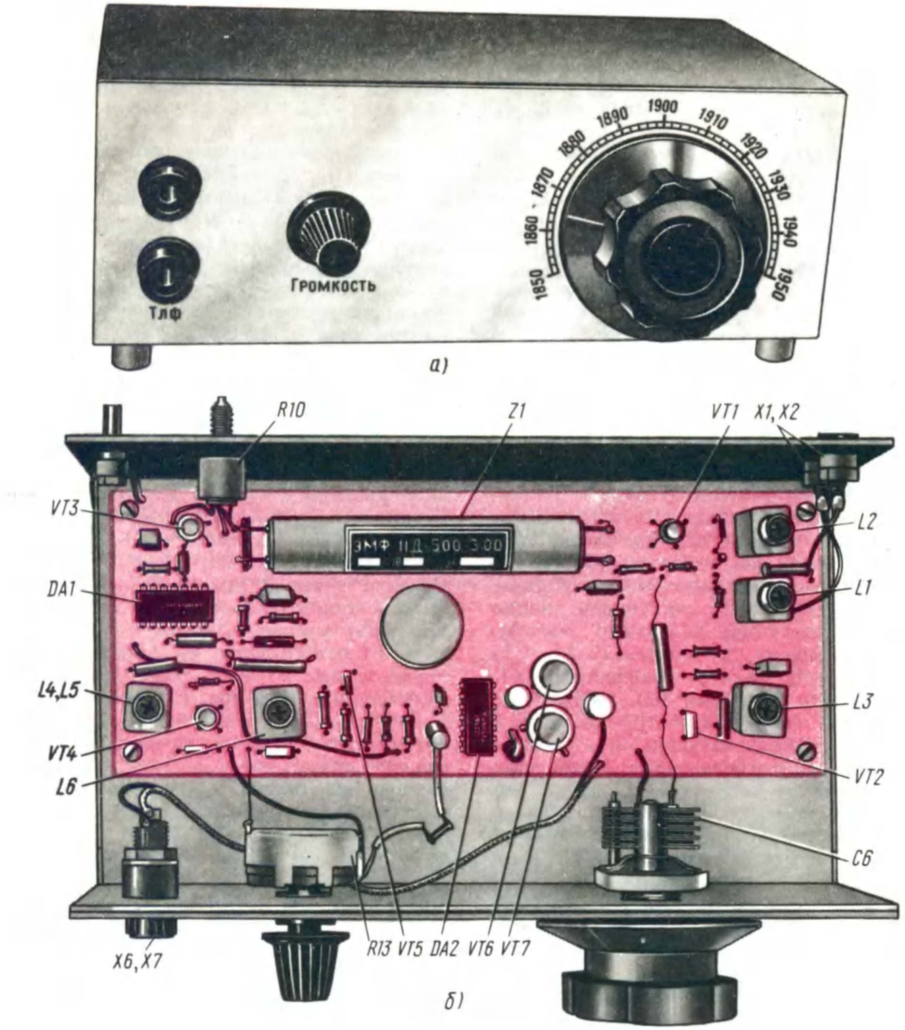

Тлф
Громкость
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
а)
R10
Z1
VT1
X1,X2
VT3
DA1
L4,L5
VT4
L6
L2
L1
L3
VT2
C6
ЭМФ 11Д-500-3,00
R13
VT5
DA2
VT6
VT7
X6,X7
б)

Рис. 408. Внешний вид приемника (*а*) и размещение его платы и деталей в корпусе (*б*)

устройством, что повысит точность настройки, особенно на SSB-сигналы.

Испытание и налаживание приемника следует производить до окончательного крепления монтажной платы в корпусе. Подключив источник питания, сразу же проверь режимы работы транзисторов и микросхем. При напряжении источника питания 9 В на эмиттерах выходных транзисторов должно быть 5...5,5 В, на коллекторах транзисторов VT2 и VT5 — 5...7 В. При перемещении движка резистора R10 из одного крайнего положения в другое напряжение на стоке транзистора VT3 должно изменяться от 2...5 до 8,5 В. Ток транзистора VT1 определяй по падению напряжения на резисторе R3 — оно должно составлять 0,3...1 В, что соответствует необходимому току 0,8...2,5 мА. Уменьшить значение этого тока можно увеличением сопротивления резистора R1. В том же случае, если ток меньше необходимого, в цепь первого затвора транзистора придется включить разделительный конденсатор емкостью 75...200 пФ и подать на этот электрод небольшое положительное напряжение с делителя из двух резисторов, аналогичного делителю R1, R2 в цепи второго затвора.

Чтобы убедиться в работоспособности усилителя ЗЧ, надо пинцетом коснуться входного вывода 3 микросхемы DA2 — в головных телефонах должен появиться сильный фон переменного тока.

Работоспособность первого гетеродина проверяй так. К конденсатору C9 подключи вольтметр постоянного тока и, следя за его стрелкой, замкни накоротко контурную катушку L3. Если при этом напряжение на конденсаторе резко уменьшается на 1...1,5 В, значит, гетеродин генерирует. Причиной бездействия гетеродина может быть ошибка в монтаже или неисправность транзистора VT2. Аналогично проверяй и второй гетеродин при подключении вольтметра к конденсатору C18.

Дальнейшее налаживание сводится к настройке контуров приемника на соответствующие им частоты, для чего потребуется генератор стандартных сигналов (ГСС). Первым настраивай контур L4C16 по уровню напряжения АРУ. Для этого вольтметр постоянного тока подключи к конденсатору C13, подай от ГСС на затвор транзистора VT3 (через конденсатор емкостью 500...1000 пФ) немодулированный сигнал частотой 500 кГц и, вращая подстроечник катушки L4, добейся максимального напряжения АРУ. Затем, поддерживая амплитуду сигнала ГСС такой, чтобы напряжение АРУ не превышало 0,5...1 В, установи движок резистора R10 в такое положение, чтобы на стоке транзистора VT3 было напряжение 5...6 В. Теперь настрой и второй гетеродин: вращая подстроечник катушки L6, добейся появления биений — громкого свистящего звука в головных телефонах на выходе усилителя ЗЧ.

Далее выход ГСС соедини через конденсатор емкостью 500...1000 пФ с первым затвором транзистора VT1 (не отключая от него входной полосовой фильтр), настрой ГСС на среднюю частоту полосы пропусканий ЭМФ и подбором конденсаторов C11 и C12 добейся максимального напряжения АРУ (на конденсаторе C13) или наибольшей громкости тона биений на выходе приемника. Одновременно подстроечником катушки L6 установи частоту второго генератора близкой нижней граничной частоте полосы пропускания ЭМФ. Если в приемнике фильтр ЭМФ-9Д-500-3,0 В, а ГСС перестраивается от частоты 500 кГц и выше, то низкий тон биений должен появляться при частоте 500,3 кГц, затем тон должен повышаться и исчезать при частоте 503 кГц.

Следующий этап — настройка контуров первого гетеродина и входного полосового фильтра. Для этого ротор конденсатора настройки C6 установи в положение средней емкости, на гнездо X2 подай от ГСС сигнал частотой 1880 кГц, настрой приемник на эту частоту подстроечником катушки L3, после чего подстроечниками катушек L1 и L2 добейся максимальной громкости звучания телефонов на выходе приемника.

Заключительный этап — измерение с помощью ГСС диапазона перестройки и проверка уменьшения чувствительности приемника на краях диапазона. При изменении емкости конденсатора настройки C6 приемник должен охватывать весь диапазон 160 м (1850...1950 кГц). Если уменьшение чувствительности на краях диапазона не превышает 1,4 раза, то полосу пропускания входного фильтра можно считать достаточной. Расширить ее можно увеличением емкости конденсатора связи C2.

Окончательно подстраивать контуры входного фильтра и устанавливать резистором R10 оптимальное усиление ПЧ будешь по сигналам любительских станций.

Антенна. Одной из лучших антенн любительской станции диапазона 160 м радиоспортсмены-коротковолновики считают симметричный полуволновый диполь — два отрезка провода с изоляторами на концах (рис. 409, *а*), общая длина которых равна половине длины радиоволны диапазона, т. е. около 80 м (точнее, $l = 0{,}475\lambda$). Для сооружения такой антенны потребуются медный провод или антенный канатик диаметром 2...2,5 мм, орешковые изоляторы, три опоры, а для соединения антенны с приемником — коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом (таким кабелем делают вводы телевизионных антенн).

Длина каждого плеча диполя может составлять 39...40 м, но быть обязательно одина-

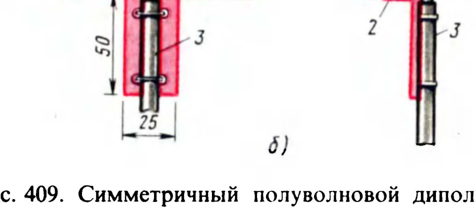


Рис. 409. Симметричный полуволновой диполь

ковой для каждого плеча. К внешним концам диполя привяжи по цепочке из двух изоляторов, с помощью которых антенну будешь крепить на опорах. Внутренние концы плеч диполя и коаксиальный кабель монтируй на изоляторе, как показано на рис. 409, *б*. Изолятор состоит из Т-образной пластины 1, выпиленной из листового текстолита толщиной не менее 3 мм, и текстолитового бруска 2 размерами примерно 25 × 15 × 100 мм, работающего на растяжение. Через сквозные отверстия в пластине и бруске надежно закрепи на изоляторе внутренние концы плеч диполя. К одному из них припаяй центральную жилу коаксиального кабеля 3, а к другому — оплетку кабеля. Сам же кабель, в свою очередь, жестко укрепи на изоляторе.

Изолятор крепи на опоре (шесте), установленной возможно ближе к окну, через которое будешь вводить в комнату соединительный кабель. Закрепляя внешние концы плеч диполя на двух других опорах, провода сильно не натягивай, чтобы они не порвались зимой во время сильных морозов.

Центральную жилу коаксиального кабеля соединяй с гнездом X2 (или X1) приемника, а его оплетку — с гнездом X3.

* * *

С конструирования приемника для ведения наблюдений за работой любителей-коротковолновиков начинался путь в эфир многих сегодняшних маститых радиоспортсменов. Не исключено, что и тебя увлечет этот вид радиоспорта. Со временем и в твоем доме может появиться радиостанция с твоим позывным. Или, возможно, ты станешь оператором коллективной станции спортивно-технического клуба своей школы, ПТУ или местного внешкольного учреждения. Работая в эфире, проявляй высокую сознательность и дисциплину, тактичность и спортивную вежливость. Только соблюдение этики и правил радиоспорта сделают эту работу действительно интересной, увлекательной и полезной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, юный друг, наши беседы окончены. В них я познакомил тебя с основами электро- и радиотехники, электроники, с азбукой цифровой техники, электронной автоматики и телемеханики, электро- и цветомузыки, научил, надеюсь, собирать, испытывать и налаживать разные по сложности и назначению радиотехнические приборы и устройства. Теперь перед тобой открылась перспектива совершенствования своих знаний в области радиоэлектроники, широкий путь к активной общественно полезной и конструкторской деятельности.

Очень хочется, чтобы ты свое дальнейшее радиолюбительское творчество связал прежде всего со своей школой. Будь инициатором организации кружка, помоги своим товарищам стать радиолюбителями. Школа с ее мастерскими — отличнейшая база для плодотворной работы кружка. Постарайся направить самодеятельность кружка на радиофикацию школы, внедрение в жизнь школы средств автоматики, на оснащение физического кабинета учебными и демонстрационными пособиями по радиотехнике и электронике. Пропагандируй знания основ цифровой техники, компьютерный всеобуч, вводимый в учебный процесс общеобразовательных школ, других учебных учреждений, в нашу повседневную жизнь. Ты и твои товарищи должны твердо усвоить, что без навыков работы с вычислительной техникой нельзя в будущем стать грамотным специалистом в любой отрасли народного хозяйства, в любой области знаний.

Будь среди товарищей пропагандистом радиоспорта, организатором коллективной радиостанции. Какие заманчивые перспективы откроются перед теми, кто займется освоением радиолюбительского эфира! А разве не увлекательно принять участие в соревнованиях по приему и передаче радиограмм, в «охоте на лис»?

В нашей стране систематически проводятся выставки технического творчества школьников, опытных радиолюбителей-конструкторов. Радиотехническое творчество школьников демонстрируется на выставках, организуемых во внешкольных учреждениях в конце учебного года. Помни: эти выставки обогащают знания и опыт, расширяют круг товарищей по интересам. Стремись к тому, чтобы на них были и твои конструкции, работы твоих товарищей.

Ты, юный друг,— современник ускоренного научно-технического прогресса, являющегося коренным вопросом экономической политики нашей Родины. Основа этого процесса сегодня — широкое использование радиотехники, электроники, вычислительной техники на производстве, в сельском хозяйстве, на транспорте, в науке и технике. Для решения этой государственной задачи, для дальнейшего прогресса отечественной радиоэлектроники нужны многочисленные кадры радиоспециалистов, поиск, массовый опыт, широкие эксперименты. Огромную помощь в этом деле оказывало, оказывает и впредь будет оказывать радиолюбительство, которое у нас справедливо называют народной лабораторией. И ты можешь найти здесь свое место.

Не исключено, что радиолюбительство поможет тебе впоследствии стать хорошим радиотехником, радиоинженером, ученым в области радиоэлектроники. Ты сможешь создавать совершенно новые конструкции радиоприемников и передатчиков, работающие на энергии атомных или солнечных батарей, портативные быстродействующие электронные вычислительные машины, аппаратуру для передачи энергии без проводов, приборы автоматического управления цехами, заводами, комбинатами, химическими реакциями, внутриядерной энергией.

Может быть, именно тебе предстоит быть одним из творцов фотонных или ионных ракет, которые будут летать со скоростью света, прокладывать в космосе электромагнитные дороги для межпланетных кораблей, решать другие проблемы, интересующие человечество. Завтра эта мечта станет реальностью, оставив далеко позади самую смелую фонтазию писателей.

А если тебе все же не доведется стать радиоспециалистом, то всюду, куда бы ни привела тебя жизненная дорога, ты всегда сумеешь применить на практике те знания и умения, которые тебе дало радиолюбительство. Совершенствуй свои знания, конструируй, изобретай, выдвигай смелые проекты и со всей страстью энтузиаста осуществляй их.

Помни: новые пути в науке и технике прокладывают и простые люди, практики, новаторы производства.

Благодарю тебя, юный друг, за внимание к моим беседам, практическим советам и желаю всяческих успехов на твоем жизненном пути!

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Международная система единиц, или сокращенно СИ, утверждена в 1960 г. на XI Международной генеральной конференции по мерам и весам. В настоящее время в научно-технической, справочной и учебной литературе физические величины указываются только в единицах системы СИ.

Система СИ строится на основных и производных единицах, названия и обозначения которых приведены в табл. 1 и 2.

В системе семь основных единиц: метр — единица длины, килограмм — единица массы (вместо «веса»), секунда — единица времени, ампер — единица силы тока, кельвин — единица температуры, моль — единица количества вещества и кандела — единица силы света. Кроме того, имеются две дополнительные единицы измерения — радиан и стерадин.

Все остальные единицы — производные, устанавливаются с помощью формул на основе взаимосвязей между физическими величинами. К числу производных относятся, например, герц (обозначают Гц) — единица частоты, ватт (Вт) — единица электрической мощности, ом (Ом) — единица электрического сопротивления. Обозначения единиц, получивших наименования в честь ученых, например ампер, вольт, ом, генри, пишут с большой (прописной) буквы (А, В, Ом, Гн).

Чтобы упростить написание и чтение численных величин, значение которых во много раз

Таблица 1

Основные единицы системы СИ

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
Длина	Метр	м	m
Масса	Килограмм	кг	kg
Время	Секунда	с	s
Сила электрического тока	Ампер	А	A
Термодинамическая температура Кельвина	Кельвин	К	K
Количество вещества	Моль	Моль	mol
Сила света	Кандела	Кд	cd

Таблица 2

Производные единицы системы СИ

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
Частота	герц	Гц	Hz
Сила	ньютон	Н	N
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	J
Мощность:			
активная	ватт	Вт	W
реактивная	вар	вар	var
полная	вольт-ампер	В·А	V·A
Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл	C
Электрическое напряжение, электрический потенциал, ЭДС	вольт	В	V
Электрическая емкость	фарада	Ф	F
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Магнитная индукция	тесла	Т	T
Индуктивность, взаимная индукция	генри	Гн	H
Световой поток	люмен	Лм	lm

больше или меньше основной или производной единицы, введены десятичные кратные и дольные (дробные) приставки, характеристики которых приведены в табл. 3. Система СИ включает шесть кратных (дека, гекто, кило, Мега, Гига, Тера) и восемь дольных (деци, санти, милли, микро, нано, пико, фемто, атто) приставок. Некоторые из них, например кило, милли, микро, давно известны и широко используются на практике. Другие, например нано, Тера, применяются сравнительно редко. Приставки гекто, дека, деци и санти применяют только в наименованиях кратных и дольных единиц, давно получивших распространение, например гектар, декаметр, сантиметр.

Таблица 3

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка		
	Наименование	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	Тера	Т	T
$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	Гига	Г	G
$1\,000\,000 = 10^{6}$	Мега	М	M
$1\,000 = 10^{3}$	кило	к	k
$100 = 10^{2}$	Гекто	г	h
$10 = 10^{1}$	дека	да	da
$0{,}1 = 10^{-1}$	деци	д	d
$0{,}01 = 10^{-2}$	санти	с	c
$0{,}001 = 10^{-3}$	милли	м	m
$0{,}000001 = 10^{-6}$	микро	мк	μ
$0{,}000\,000\,001 = 10^{-9}$	нано	н	n
$0{,}000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	пико	п	p
$0{,}000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	фемто	ф	f
$0{,}000\,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-18}$	атто	а	a

Обозначения основных, производных, десятичных кратных и дольных единиц могут быть только русскими или только международными. В этой книге используются русские обозначения.

Несколько примеров написания некоторых электрических величин из области электро- и радиотехники: 220 вольт — 220 В; 100 миллиампер — 100 мА; 10 килоом — 10 кОм; 5 микрофарад — 5 мкФ; 75 ватт — 75 Вт.

2. УСЛОВНЫЕ БУКВЕННО-ЦИФРОВЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

В этой книге, как и во всей радиотехнической литературе, принято позиционное обозначение элементов, устройств или функциональных групп элементов, состоящее из двух частей. В первой части обозначения указывается вид элемента или устройства, например конденсатор, резистор, переключатель. Эта часть обозначений содержит одну или две буквы латинского алфавита — так называемый буквенный код (табл. 4), например: C (конденсатор), R (резистор), A (переключатель), GB (батарея гальванических элементов или аккумуляторов)

Таблица

Позиционное обозначение элементов и устройств

Элементы и устройства	Буквенный код
Устройства—общее образование (микросхемы, кроме цифровых, транзисторные, ламповые и магнитные усилители)	A
Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) и электрических в неэлектрические (микрофоны, головные телефоны, динамические головки прямого излучения и громкоговорители, звукосниматели)	B
Конденсаторы постоянной и переменной емкости	C
Элементы логичные двоичные (цифровые микросхемы, ждущие мультивибраторы, триггеры)	D
Элементы и устройства защиты (предохранители, разрядники, защитные реле, автоматы защиты электросети)	F
Источники питания электрохимические (гальванические элементы, аккумуляторы), источники питания стабилизированные	G
Батареи гальванических элементов, аккумуляторные	GB
Устройства индикационные и сигнальные (сигнальные лампы накаливания, полупроводниковые индикаторы, звонки, сирены)	H
Реле электромагнитные	K
Реле поляризованные	KP
Катушки индуктивные, дроссели	L
Электродвигатели переменного и постоянного тока	M

Продолжение табл.

Элементы и устройства	Буквенный код
Приборы и устройства измерительные (показывающие, регистрирующие)	P
Амперметры, миллиамперметры, микроамперметры	PA
Вольтметры, милливольтметры	PU
Резисторы постоянные, переменные и подстроечные, терморезисторы	R
Устройство коммутационное (переключатели, выключатели, кнопки)	S
Трансформаторы, автотрансформаторы	T
Приборы полупроводниковые и электровакуумные (полупроводниковые диоды, диодные столбы, стабилитроны, транзисторы, варикапы, электронные лампы, электронно-лучевые трубки)	V
Соединители разъемные, монтажные; устройства соединительные (гнезда, зажимы, разъемы)	X
Устройства механические с электрическим приводом (электромагниты)	Y
Устройства оконечные, фильтры (например, кварцевые), ограничители	Z
Громкоговоритель (головка динамическая прямого излучения)	BA
Телефон (капсюль)	BF
Фотоэлемент	BP
Звукосниматель	BS
Пьезоэлемент	BQ
Микросхема аналоговая	DA
Микросхема цифровая, логический элемент	DD
Нагревательный элемент	EK
Предохранитель плавкий	FU
Прибор звуковой сигнализации	HA
Прибор световой сигнализации	HL
Реле времени	KT
Частотомер	PF
Омметр	PR
Шунт измерительный	PS
Выключатель или переключатель	SA
Выключатель кнопочный	SB
Диод, стабилитрон	VD
Транзистор	VT
Тиристор	VS
Прибор электровакуумный	VL
Антенна	WA

Окончание табл.

Элементы и устройства	Буквенный код
Штырь (вилка)	XR
Гнездо (розетка)	XS
Соединение разборное (разъем)	XT
Фильтр кварцевый	ZQ
Электромагнит	YA

и т. д. Во второй части позиционного обозначения указывается порядковый номер элемента (устройства) в пределах данного вида в приемнике, усилителе или другом устройстве или приборе, например: C1, C2, R1, R2, GB1, VT1, VT2 и т. д. Условный номер части элемента или устройства, например части многоконтактного переключателя или группы контактов электромагнитного реле, если они изображены в разных участках схемы, разделены точкой, например: секция 1 переключателя SA1—SA1.1; контактная группа 2 электромагнитного реле K2—K2.2; элемент 1 цифровой микросхемы DD2—DD2.1.

В нашей стране действует ГОСТ 2.170—81 (СТ СЭВ 2182—80) «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах», согласно которому позиционное обозначение каждого элемента (устройства) состоит из одно- и двухбуквенного кода (см. табл. 4) и порядкового номера элемента (устройства) данного вида, например: VT1, VT2 (транзисторы), VD1, VD2 (диоды), SA1, SA2 (выключатели или переключатели) и т. п. Кроме того, в обозначении допускается дополнительная латинская буква, характеризующая функциональное назначение данного элемента или устройства, например: резистор R5, защищающий транзистор от перегрузки током,— R5P; конденсатор C12, используемый как измерительный элемент,— C12N; испытательный транзистор—ЖТ2Г и т. д.

Такая система буквенно-цифрового позиционного обозначения элементов или устройств используется главным образом в электрических схемах аппаратуры промышленного изготовления, в специальной технической литературе, в некоторых журналах (например, в журнале «Радио»). Сейчас она распространилась и на популярную радиотехническую литературу.

3. НОМИНАЛЫ КОНДЕНСАТОРОВ И РЕЗИСТОРОВ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Номинальные емкости конденсаторов и номинальные сопротивления резисторов широкого применения

Микрофарады				Пикофарады, нанофарады (тысяча пФ), омы, килоомы, мегаомы									
0,010	0,010	0,10	1,0	10	1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100
							1,1			11			110
	0,012					1,2	1,2		12	12		120	120
							1,3			13			130
0,015	0,015	0,15	1,5	15	1,5	1,5	1,5	15	15	15	150	150	150
							1,6			16			160
	0,018					1,8	1,8		18	18		180	180
							2,0			20			200
0,022	0,022	0,22	2,2	22	2,2	2,2	2,2	22	22	22	220	220	220
							2,4			24			240
	0,027					2,7	2,7		27	27		270	270
							3,0			30			300
0,033	0,033	0,33	3,3	33	3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330
							3,6			36			360
	0,039					3,9	3,9		39	39		390	390
							4,3			43			430
0,047	0,047	0,47	4,7	47	4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	470
							5,1			51			510
	0,056					5,6	5,6		56	56		560	560
							6,2			62			620
0,068	0,068	0,68	6,8	68	6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	680
							7,5			75			750
	0,082					8,2	8,2		82	82		820	820
							9,1			91			910
Допустимые отклонения от номинальных значений													
±20%	±10 и 5%	±20%	±10%	±5%	±20%	±10%	±5%	±20%	±10%	±5%	±20%	±10%	±5%

4. ЦВЕТОВАЯ МАРКИРОВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ

Постоянные резисторы широкого применения, выпускаемые нашей промышленностью, все чаще стали маркировать условным цветовым кодом в виде точек или круговых полос (поясков) разных цветов. Нанесенные в определенном порядке на цилиндрическую поверхность резистора, они обозначают его номинальное сопротивление и допустимое отклонение от номинального значения.

Номинальное сопротивление выражают в омах двумя или тремя цифрами (в случае трех цифр последняя цифра не равна нулю) и множителем 10^n, где n — любое число в пределах $-2...+9$. Для резисторов с номинальным сопротивлением, выражаемым двумя цифрами и множителем, цветовая маркировка состоит из четырех знаков или трех при допуске ±20% (такой допуск маркировкой не наносят).

Маркировочные знаки сдвинуты к одному из торцов резистора (см. рис. П. 1 — А, В, Д). Ближайший к торцу знак считается первым, за ним второй, третий и т. д. Если длина резистора не позволяет сдвинуть маркировку к одному из торцов, то последний кодировочный знак делают в 1,5 раза крупнее остальных (см. рис. П. 1 — Б, Г, Е). На резисторе маркировочные знаки располагают слева направо в следующем порядке: первый знак — первая цифра, второй знак — вторая цифра, третий знак — множитель. Эти три знака характеризуют номинальное сопротивление резистора. Четвертый знак — допускаемое отклонение его сопротивления от номинального.

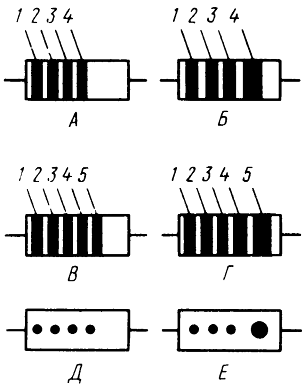


Рис. П.1

Для резисторов с номинальным сопротивлением, выражаемым тремя цифрами и множителем, цветная маркировка состоит из пяти знаков, первые три из которых — три цифры номинала, четвертый знак — множитель, пятый — допустимое отклонение сопротивления от номинального значения.

Цвет маркировочных знаков и соответствующие им числа номинальных сопротивлений и допуска указаны в табл. 6.

Примеры цветовой маркировки резисторов:

470 Ом±0,5%:

1-й знак — желтый (4), 2-й знак — фиолетовый (7), 3-й знак — коричневый (10), 4-й знак — зеленый (±0,5%);

15 кОм±5%:

1-й знак — коричневый (1), 2-й знак — зеленый (5), 3-й знак — оранжевый (10^3), 4-й знак — золотистый (±5%).

Таблица 6

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допустимое отклонение сопротивления, %
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множитель	
Серебристый	—	—	—	10^{-2}	±10
Золотистый	—	—	—	10^{-1}	±5
Черный	—	0	—	1	—
Коричневый	1	1	1	10	±1
Красный	2	2	2	10^2	±2
Оранжевый	3	3	3	10^3	—
Желтый	4	4	4	10^4	—
Зеленый	5	5	5	10^5	±0,5
Голубой	6	6	6	10^6	±0,25
Фиолетовый	7	7	7	10^7	±0,1
Серый	8	8	8	10^8	±0,05
Белый	9	9	9	10^9	—

5. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Элемент, батарея	Размеры, мм, не более	Масса, г, не более	Начальные характеристики при ±20° С		Режим разрядки		Сохранность, месяцы
			Напряжение, $U_{нач}$, В	Продолжительность работы, ч	Сопротивление внешней цепи $R_н$, Ом	Конечное напряжение $U_{кон}$, В	
316	Ø14×50	20	1,52	60	200	1	9
332	Ø22×37	30	1,40	6	20	0,85	6
336	Ø20×58	45	1,40	10	20	0,85	6
343	Ø26×50	52	1,55	12	20	0,85	18
373	Ø34×61	115	1,55	40	20	0,85	18
3336	63×22×67	150	3,7	3	10	2,0	6
«Рубин-1»	62×21×63	150	4,1	180	100	—	9
«Рубин-2»	62×21×63	150	4,0	20	15	—	9
«Крона ВЦ»	16×26×48,5	40	9,0	—	900	5,5	6

Примечание. При температуре −40° С продолжительность работы составляет около 10% продолжительности работы при температуре +20° С.

6. МАЛОГАБАРИТНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ И АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Элемент, батарея	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, г	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, А·ч	Рекомендуемый ток разрядки, мА	Рекомендуемый ток зарядки, мА		
							20 ч	15 ч	10 ч
Д-0,06	15,6	6,4	4,0	1,25	0,06	6...12	4	6	9
Д-0,1	20,0	6,9	7,0	1,25	0,1	10...20	7	10	15
Д-0,25	27,0	10,0	14,0	1,25	0,25	25...50	15	25	35
7Д-0,1	24,0	62,2	60,0	8,75	0,1	10...20	7	10	15

7. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Диод	Максимально допустимый средний выпрямленный ток, $U_{\text{вп max}}$, мА	Максимально допустимое постоянное обратное напряжение, $U_{\text{обр max}}$, В	Диод	Максимально допустимый средний выпрямленный ток, $I_{\text{вп max}}$, мА	Максимально допустимое постоянное обратное напряжение, $U_{\text{обр max}}$, В
Точечные (универсальные)					
Д2Б	16	10	Д9Г	80	30
Д2В	25	30	Д9Д	80	30
Д2Г	16	50	Д9Е	54	50
Д2Д	16	50	Д9Ж	38	100
Д2Е	16	100	Д9И	80	120
Д2Ж	8	150	Д9К	80	60
Д2И	16	100	Д9Л	38	100
Д9А	65	10	Д9М	80	30
Д9Б	105	10	318	16	50
Д9В	54	30	Д20	16	100
Выпрямительные (сплавные)					
Д7А	300	50	Д226Б	300	400
Д7Б	300	100	Д226В	300	300
Д7В	300	150	Д226Г	300	200
Д7Г	300	200	Д226Д	300	100
Д7Д	300	300	Д242	10000	100
Д7Е	300	350	Д242Б	5000	100
Д7Ж	300	400	Д243	10000	200
Д202	400	100	Д243Б	5000	200
Д203	400	200	Д245	10000	300
Д204	400	300	Д246	10000	400
Д205	400	400	Д246Б	5000	400
Д207	100	200	Д247	10000	500
Д208	100	300	Д247Б	5000	600
Д209	100	400	Д302	1000	200
Д210	100	500	Д303	3000	150
Д211	100	600	Д304	5000	100

Примечания· 1. Диоды серий Д2, Д7, Д9, Д18, Д20 и Д302 – Д304 – германиевые, серий Д202 – Д211, Д226, Д242, Д243 и Д245 – Д247 – кремниевые.

2. Диоды серии Д9 обозначают на середине их корпусов цветными метками· Д9Б — красной, Д9В — оранжевой, Д9Г – желтой, Д9Д – белой, Д9Е - голубой, Д9Ж — зеленой, Д9И — двумя желтыми, Д9К — двумя белыми, Д9Л – двумя зелеными На корпусе возле вывода анода – красная метка.

8. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Транзистор	Структура	Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$, МГц	Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$	Обратный ток коллектора $I_{КБО}$, мкА, не более	Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор—эмиттер $U_{КЭmax}$, мА	Максимально допустимый постоянный ток коллектора $I_{Кmax}$, мА	Максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора $P_{Кmax}$, мВт	Рис. П.2
Низкочастотные								
МП25	p-n-p	0,2	13...25	75	40	300	200	а
МП25А	p-n-p	0,2	20...40	75	40	400	200	а
МП25Б	p-n-p	0,5	30...80	75	40	400	200	а
МП26	p-n-p	0,2	13...25	75	70	300	200	а
МП26А	p-n-p	0,2	20...50	75	70	400	200	а
МП26Б	p-n-p	0,5	30...80	75	70	400	200	а
П27	p-n-p	1,0	20...100	3	5	6	30	а
П27А	p-n-p	1,0	20...70	3	5	6	30	а
П28	p-n-p	5,0	20...200	3	5	6	30	а
МП35	n-p-n	0,5	5...25	30	15	20	150	а
МП36А	n-p-n	1,0	6...45	30	15	20	150	а
МП37	n-p-n	1,0	6...30	30	15	20	150	а
МП37А	n-p-n	1,0	6...30	30	30	20	150	а
МП37Б	n-p-n	1,0	8...50	30	30	20	150	а
МП38	n-p-n	2,0	8...55	30	15	20	150	а
МП38А	n-p-n	2,0	17...100	30	15	20	150	а
МП39	p-n-p	0,5	>12	15	10	20	150	а
МП39Б	p-n-p	0,5	20...60	15	10	20	150	а
МП40	p-n-p	1,0	20...40	15	10	20	150	а
МП40А	p-n-p	1,0	20...40	15	30	20	150	а
МП41	p-n-p	1,0	30...60	15	10	20	150	а
МП41А	p-n-p	1,0	50...100	15	10	20	150	а
МП42	p-n-p	1,0	20...35	25	15	150	200	а
МП42А	p-n-p	1,0	30...50	25	15	150	200	а
МП42Б	p-n-p	1,0	40...100	25	15	150	200	а
ГТ108А	p-n-p	0,5	20...50	10	10	50	75	б
ГТ108Б	p-n-p	1,0	35...80	10	10	50	75	б
ГТ108В	p-n-p	1,0	60...130	10	10	50	75	б
ГТ108Г	p-n-p	1,0	110...250	10	10	50	75	б
ГТ109А	p-n-p	1,0	20...50	5	6	20	30	в
ГТ109Б	p-n-p	1,0	35...80	5	6	20	30	в
ГТ109В	p-n-p	1,0	60...130	5	6	20	30	в
ГТ109Г	p-n-p	1,0	110...250	5	6	20	30	в
ГТ109Д	p-n-p	3,0	20...70	2	6	20	30	в
ГТ109Е	p-n-p	5,0	50...100	2	6	20	30	в
ГТ109И	p-n-p	1,0	20...80	5	6	20	30	в
МП111	n-p-n	0,5	10...25	3	20	20	150	а
МП111А	n-p-n	0,5	10...30	1	10	20	150	а
МП111Б	n-p-n	0,5	15...45	3	20	20	150	а
МП112	n-p-n	0,5	15...45	3	10	20	150	а
МП113	n-p-n	1,0	15...45	3	10	20	150	а
МП113А	n-p-n	1,2	35...105	3	10	20	150	а
МП114	p-n-p	0,1	>9	10	60	10	150	а
МП115	p-n-p	0,1	9...45	10	30	10	150	а
МП116	p-n-p	0,5	15...100	10	15	10	150	а

Продолжение табл.

Транзистор	Структура	Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$, МГц	Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$	Обратный ток коллектора $I_{КБО}$, мкА, не более	Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭmax}$, мА	Максимально допустимый постояный ток коллектора $I_{Кmax}$, мА	Максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора $P_{Кmax}$, мВт	Рис. П.2
Высокочастотные								
П401	p-n-p	30	16...300	10	10	10	100	г
П402	p-n-p	50	16...250	5	10	20	100	г
П403	p-n-p	100	30...100	5	10	20	100	г
П403А	p-n-p	80	16...200	5	10	20	100	г
П416	p-n-p	40	20...80	3	12	25	100	г
П416А	p-n-p	60	60...125	3	12	25	100	г
П416Б	p-n-p	80	90...250	3	12	25	100	г
П422	p-n-p	50	30...100	5	10	25	100	г
П423	p-n-p	100	30...100	5	10	10	100	г
КТ301	n-p-n	30	20...60	10	20	10	150	д
КТ301А	n-p-n	30	40...120	10	20	10	150	д
КТ301Б	n-p-n	30	10...32	10	20	10	150	д
КТ301В	n-p-n	30	20...60	10	20	10	150	д
КТ301Г	n-p-n	60	10...32	10	20	10	150	д
КТ301Д	n-p-n	60	20...60	10	20	10	150	д
КТ301Е	n-p-n	60	40...120	10	20	10	150	д
КТ301Ж	n-p-n	60	80...300	10	20	10	150	д
ГТ308А	p-n-p	90	20...75	2	15	50	150	г
ГТ308Б	p-n-p	120	50...120	2	15	50	150	г
ГТ308В	p-n-p	120	80...200	2	15	50	150	г
ГТ309А	p-n-p	120	20...70	5	10	10	50	д
ГТ309Б	p-n-p	120	60...180	5	10	10	50	д
ГТ309В	p-n-p	80	20...70	5	10	10	50	д
ГТ309Г	p-n-p	80	60...180	5	10	10	50	д
ГТ309Д	p-n-p	40	20...70	5	10	10	50	д
ГТ309Е	p-n-p	40	60...180	5	10	10	50	д
ГТ310А	p-n-p	160	20...70	5	10	10	20	в
ГТ310Б	p-n-p	160	60...180	5	10	10	20	в
ГТ310В	p-n-p	120	20...70	5	10	10	20	в
ГТ310Г	p-n-p	120	60...180	5	10	10	20	в
ГТ310Д	p-n-p	80	20...70	5	10	10	20	в
ГТ310Е	p-n-p	80	60...180	5	10	10	20	в
ГТ311Е	n-p-n	250	15...80	10	12	50	150	е
ГТ311Ж	n-p-n	300	50...200	10	12	50	150	е
ГТ311И	n-p-n	450	100...300	10	10	50	150	е
КТ312А	n-p-n	80	10...100	10	20	30	150	ж
КТ312Б	n-p-n	80	25...100	10	35	30	150	ж
КТ312В	n-p-n	80	50...280	10	20	30	150	ж
ГТ313А	p-n-p	300	20...250	5	12	30	100	е
ГТ313Б	p-n-p	450	20...250	5	12	30	100	е
ГТ313В	p-n-p	350	30...170	5	12	30	100	е
КТ315А	n-p-n	250	20...90	1	20	100	150	з
ГТ315Б	n-p-n	250	50...350	1	15	100	150	з
КТ315В	n-p-n	250	20...90	1	30	100	150	з
КТ315Г	n-p-n	250	50...350	1	25	100	150	з
КТ315Д	n-p-n	250	20...90	1	25	100	150	з
КТ315Е	n-p-n	250	50...350	1	25	100	150	з
КТ361А	p-n-p	250	20...90	1	25	100	150	з

Транзистор	Структура	Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$, МГц	Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$	Обратный ток коллектора $I_{КБО}$, мкА, не более	Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭmax}$, мА	Максимально допустимый постояный ток коллектора I_{Kmax}, мА	Максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора P_{Kmax}, мВт	Рис П 2
КТ361Б	p-n-p	250	50...350	1	25	100	150	з
КТ361В	p-n-p	250	20...90	1	25	100	150	з
КТ361Г	p-n-p	250	50...350	1	25	100	150	з
КТ361Д	p-n-p	250	20...90	1	25	100	150	з

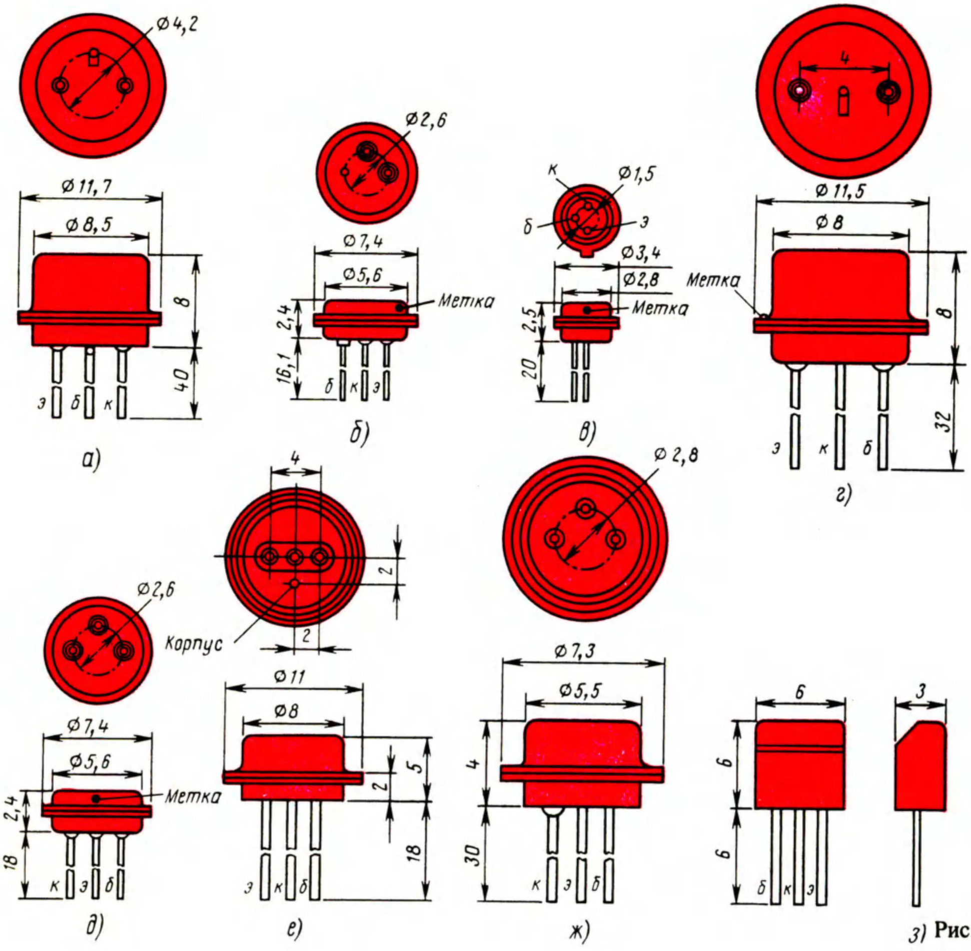

Ø4,2
Ø11,7
Ø8,5
8
40
э б к
а)
Ø2,6
Ø7,4
Ø5,6
Метка
2,4
16,1
б к э
б)
к
Ø1,5
б
э
Ø3,4
Ø2,8
Метка
2,5
20
в)
4
Ø11,5
Ø8
Метка
8
32
э к б
г)
Ø2,6
Ø7,4
Ø5,6
Метка
2,4
18
к э б
д)
4
2
Корпус
2
Ø11
Ø8
5
2
18
э к б
е)
Ø2,8
Ø7,3
Ø5,5
4
30
к э б
ж)
6
3
6
6
б к э
з)

Рис. П.2

9. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ (рис. П.3)

11

Транзистор	Напряжение отсечки $U_{ЗИотс}$, В, не более	Крутизна характеристики S, мА/В	Максимально допустимое напряжение сток — исток $U_{СИmax}$, В	Максимально допустимый ток стока $I_{Сmax}$, мА	Рис. П.3
КП102Е	2,8	0,25...0,7	20	0,18...0,55	а
КП102Ж	4,0	0,3...0,9	20	0,4...1,0	а
КП102И	5,5	0,35...1,0	20	0,7...1,8	а
КП102К	7,5	0,45...1,2	20	1,3...3,0	а
КП102Л	10,0	0,65...1,3	20	2,4...6,0	а
КП103Е	1,5	0,4...1,8	15	0,3...0,7	б
КП103Ж	2,2	0,7...2,1	15	0,55...1,2	б
КП103И	3,0	0,8...2,6	15	1,0...2,1	б
КП103К	4,0	1,4...3,5	15	1,7...3,8	б
КП103Л	6,0	1,8...3,8	15	3,0...6,6	б
КП103М	7,0	2,0...4,4	15	5,4...12	б
КП301Б	—	1,0	20	15	в
КП302А	5,0	5	20	24	г
КП302Б	7,0	7	20	43	г
КП302В	10,0	—	20	43	г
КП303А	0,5...3,0	1...4	25	20	д
КП303Б	0,5...3,0	1...4	25	20	д
КП303В	1,0...4,0	2...5	25	20	д
КП303Г	8,0	3...7	25	20	д
КП303Д	8,0	2,6	25	20	д
КП303Е	8,0	4	25	20	д
КП303Ж	0,3...3,0	1...4	25	20	д
КП303И	0,5...2	2...6	25	20	д

Примечания: 1. Для транзисторов серий КП102 и КП103 напряжение на стоке относительно истока отрицательное, на затворе — положительное.

2. Для транзисторов серии КП301 напряжение на стоке относительно истока и подложки — отрицательное, на затворе — тоже отрицательное.

3. Для транзисторов серий КП302 и КП303 напряжение на стоке относительно истока положительное, на затворе — отрицательное.

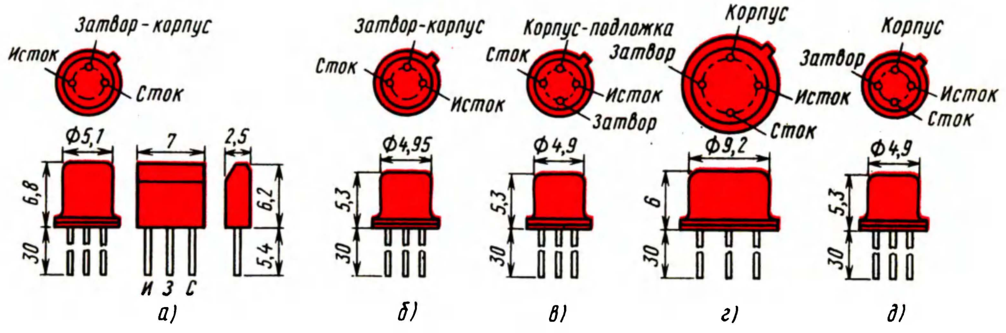

Затвор - корпус
Исток
Сток
Ф5,1
7
2,5
6,8
6,2
30
5,4
И З С
а)
Затвор-корпус
Сток
Исток
Ф4,95
5,3
30
б)
Корпус-подложка
Сток
Исток
Затвор
Ф4,9
5,3
30
в)
Корпус
Затвор
Исток
Сток
Ф9,2
6
30
г)
Корпус
Затвор
Исток
Сток
Ф4,9
5,3
30
д)

Рис. П.3

10. СТАБИЛИТРОНЫ КРЕМНИЕВЫЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Стабилитрон	Напряжение стабилизации $U_{ст}$, В	Максимально допустимый постоянный ток стабилизации $I_{ст\,max}$, мА	Прибор	Напряжение стабилизации $U_{ст}$, В	Максимально допустимый постоянный ток стабилизации $I_{ст\,max}$, мА
КС133А	3...3,7	81	Д811	10...12	23
КС139А	3,5...4,3	70	Д813	11,5...14	20
КС147А	4,1...5,2	58	Д814А	7...8,5	40
КС156А	5...6,3	55	Д814Б	8...9,5	36
КС162А	5,8...6,6	22	Д814В	9...10,5	32
КС168А	6,2...7,5	45	Д814Г	10...12	29
КС175А	7...8	18	Д814Д	11,5...14	24
КС182А	7,6...8,8	17	Д818А	9...11,25	33
Д808	7...8,5	33	Д818Б	6,75...9	33
Д809	8...9,5	29	Д818В	7,2...10,8	33
Д810	9...10,5	26	Д818Г	7,65...10,35	33

Примечание. Полярность включения стабилитрона должна быть такой, чтобы на анод подавалось отрицательное напряжение источника питания.

11. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТИПА ТВК

Трансформатор	Магнитопровод	Обмотка	Число витков	Провод	Сопротивление постоянному току, Ом
ТВК-70Л2	УШ16×24	I (1–2)	3000	ПЭВ-1 0,12	460
		II (3–4)	146	ПЭВ-1 0,47	1,75
ТВК-110ЛМ	ШЛ16×25	I (1–2)	2400	ПЭВ-1 0,14	280
		II (3–4)	148	ПЭВ-1 0,62	1,05
		III (5–6)	240	ПЭВ-1 0,14	30
ТВК-110Л-1	ШЛ20×32	I (1–2)	2140	ПЭВ-1 0,17	250
		II (3–4)	214	ПЭВ-1 0,64	1,5
		III (5–6)	238	ПЭВ-1 0,17	25
ТВК-110Л-2	УШ16×24	I (1–2)	2430	ПЭВ-1 0,15	280
		II (3–4)	150	ПЭВ-1 0,55	1,05
		III (5–6)	243	ПЭВ-1 0,15	32

12. ГОЛОВКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Головка	Номинальная мощность, Вт	Номинальный диапазон рабочих частот, Гц	Номинальное электрическое сопротивление, Ом	Размеры, мм
0,05ГД-2	0,05	700...2500	6,5	⌀ 20 × 16,5
0,1ГД-3М	0,1	630...3150	10,0	⌀ 50 × 20
0,1ГД-6	0,1	450...3150	10,0	⌀ 60 × 27
0,1ГД-9	0,1	450...3150	60,0	⌀ 50 × 14
0,1ГД-12	0,1	315...3550	10,0	⌀ 60 × 27
0,25ГД-1	0,25	315...3550	10,0	⌀ 70 × 36
0,25ГД-2	0,25	315...7000	10,0	⌀ 70 × 34
0,25ГД-10	0,25	315...7000	10,0	⌀ 70 × 36
0,5ГД-10	0,5	200...6300	6,5	⌀ 105 × 50
0,5ГД-17*	0,5	315...5000	8,0	106 × 70 × 37
0,5ГД-20	0,5	315...5000	8,0	⌀ 80 × 34
0,5ГД-21	0,5	315...7000	8,0	⌀ 80 × 34
0,5ГД-30*	0,5	125...10 000	16,0	125 × 80 × 47
0,5ГД-37*	0,5	315...7100	8,0	80 × 80 × 37,5
1ГД-3	1,0	5000...16 000	12,5	⌀ 70 × 27
1ГД-4*	1,0	100...10 000	8,0	150 × 100 × 58
1ГД-5	1,0	125...7100	6,5	⌀ 126 × 54
1ГД-18*	1,0	100...10 000	6,5	156 × 98 × 48
1ГД-19*	1,0	100...10 000	6,5	156 × 98 × 42
1ГД-28*	1,0	100...10 000	6,5	156 × 98 × 42
1ГД-36*	1,0	100...12 500	8,0	100 × 160 × 58
1ГД-40*	1,0	100...10 000	8,0	100 × 160 × 45
1ГД-40Р*	1,0	100...10 000	8,0	100 × 160 × 45
2ГД-19М	2,0	100...10 000	4,5	⌀ 152 × 52
2ГД-22*	2,0	100...10 000	12,5	82 × 280 × 77
2ГД-28	2,0	100...10 000	4,5	⌀ 152 × 52
2ГД-35	2,0	80...12 500	4,5	⌀ 152 × 52
3ГД-1	3,0	200...5000	8,0	⌀ 150 × 54
3ГД-38*	3,0	80...12 500	4,0	160 × 160 × 73,5
4ГД-4	4,0	63...12 500	8,0	⌀ 202 × 76
4ГД-5	4,0	63...12 500	8,0	⌀ 202 × 76
4ГД-7	4,0	63...12 500	4,5	⌀ 202 × 76
4ГД-9*	4,0	100...8000	4,5	204 × 134 × 54
4ГД-28	4,0	63...12 500	4,5	⌀ 202 × 71,5
4ГД-35*	4,0	63...12 500	4,0; 8,0	200 × 200 × 74
4ГД-36*	4,0	63...12 500	4,0; 8,0	200 × 200 × 85

Примечание. Звездочкой отмечены головки с эллиптическим (овальным) диффузором.

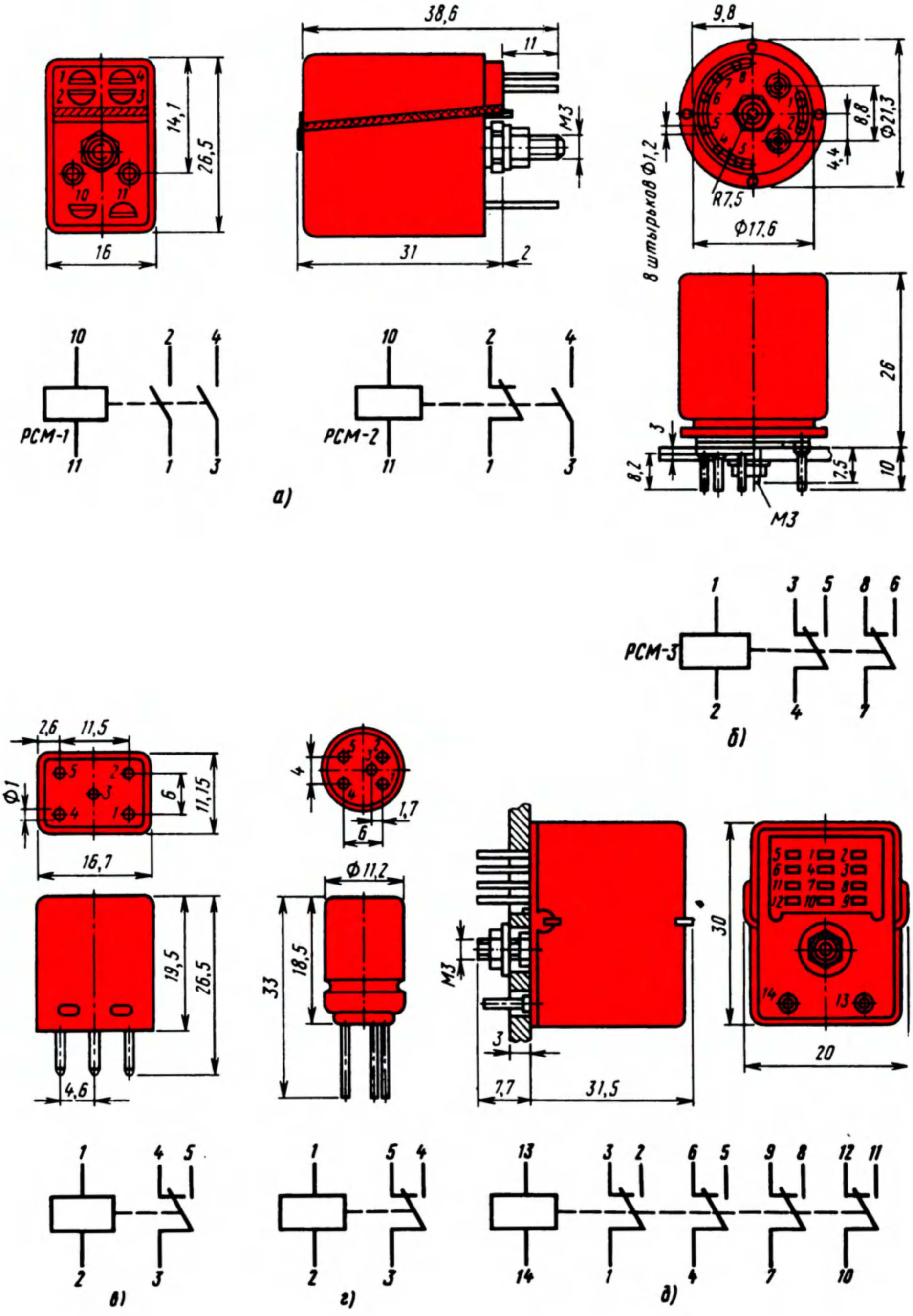
13. МАЛОГАБАРИТНЫЕ РЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Паспорт	Число и функция контактов	Сопротивление обмотки, Ом	Ток, мА		Масса, г	Рис. П.4
			срабатывания	отпускания		
РСМ-1						
РФ4.500.020	2з	498...577	25	6	25	а
РФ4.500.022		675...788	25	5		
РФ4.500.028		675...825	24	6		
РФ4.500.029		190...210	45	8		
РФ4.500.030		54...66	68	15		
РФ4.500.033		225...275	40	16		
РФ4.500.039		28,5...31,5	100	26		
РСМ-2						
РФ4.500.021	1з, 1р	498...577	26	4,5	25	а
РФ4.500.023		675...825	24	4	25	а
РФ4.500.025		675...825	25	5		
РФ4.500.026		108...132	70	10		
РФ4.500.031		54...66	68	15		
РФ4.500.034		675...825	24	4		
РФ4.500.036		498...577	18	4		
РСМ-3						
РФ4.500.024	2р	675...825	24	3	25	а
РФ4.500.027		108...132	65	9,5		
РФ4.500.035		498...577	18	4		
РЭС-9						
РС4.524.200	2п	450...550	30	5	20	б
РС4.524.201		450...550	30	5		
РС4.524.204		8160...10560	7	1,1		
РС4.524.205		2890...3740	11	1,7		
РС4.524.208	2п	8160...10560	7	1,1	20	б
РС4.524.209		450...550	30	5		
РС4.524.211		882...1078	23	3		
РС4.524.213		450...550	30	5		
РС4.524.217		8160...10560	7	1,1		
РС4.524.218		2890...3740	11	1,7		
РЭС-10						
РС4.524.300	1з	3825...5175	6	0,8	7,5	в
РС4.524.305		1360...1840	10	1,3		
РС4.524.308		108...132	35	5		
РС4.524.311		108...132	35	5		
РС4.524.316		1360...1840	10	1,3		
РС4.524.301	1п	3825...5175	8	1,1	7,5	в
РС4.524.302		536...724	22	3		
РС4.524.303		108...132	50	7		
РС4.524.312		108...132	50	7		
РС4.524.313		3825...5175	8	1,1		

Окончание табл.

Паспорт	Число и функция контактов	Сопротивление обмотки, Ом	Ток, мА		Масса, г	Рис П 4
			срабатывания	отпускания		
РС4.524.314		536...714	22	3	7,5	в
РС4.524.319		536...724	23	3		
РЭС-15						
РС4.591.001	1п	1870...2530	8,5	2	3,7	г
РС4.591.002		134...184	30	7		
РС4.591.003		280...380	21	5		
РС4.591.004		612...828	14,5	3,5		
РС4.591.006		425...575	17	4		
РЭС-22						
РФ4.500.125	4п	2380...3080	11	2	36	д
РФ4.500.129		158...210	36	8		
РФ4.500.130		2250...3875	10,5	2,5		
РФ4.500.131		552...780	20	4		
РФ4.500.163		595...805	21	3		

Примечание. Буквенные обозначения групп контактов: з — группа на замыкание; р — группа на размыкание; п — группа на переключение



38,6
11
9,8
14,1
26,5
16
31
2
M3
8,8
Φ21,3
4,4
8 штырьков Φ1,2
R7,5
Φ17,6
26
3
8,2
7,5
10
M3
PCM-1
PCM-2
PCM-3
а)
б)
2,6
11,5
Φ1
6
11,15
16,7
19,5
26,5
4,6
4
1,7
6
Φ 11,2
33
18,5
M3
3
7,7
31,5
30
20
в)
г)
д)

Рис. П.4

СОДЕРЖАНИЕ

Здравствуй, юный друг! 3

БЕСЕДА ПЕРВАЯ.

ИСТОКИ РАДИО 4

Из глубины веков (4). Заглянем в микромир (6). О проводниках, непроводниках и полупроводниках (8). Электрический ток (9). Электричество и магнутизм: какая между ними связь? (11). Переменный ток рождает электромагнитные волны (14). Рождение радио (15). «Газета без бумаги и без расстояний» (17) 17

БЕСЕДА ВТОРАЯ.

О КОЛЕБАНИЯХ И ВОЛНАХ, ТЕХНИКЕ РАДИОПЕРЕДАЧИ И РАДИОПРИЕМА 19

Колебания и волны (20). Период и частота колебаний (21). О микрофоне и радиоволнах (22). Радиовещательные диапазоны волн (23). Радиопередача (24). Распространение радиоволн (25) 25

БЕСЕДА ТРЕТЬЯ.

ТВОЙ ПЕРВЫЙ РАДИОПРИЕМНИК 27

Антенна и заземление (27). Первый радиоприемник (31). Принципиальная электрическая схема твоего приемника (35). Конструкция приемника (38). Как приемник работает? (40). Возможные неисправности (48) 48

БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ.

ЭКСКУРСИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКУ 50

Электрический ток и его оценка (50). Электрическое сопротивление (51). Электрическое напряжение (52). Закон Ома (53). Индуктивное сопротивление (55). Мощность и работа тока (55). Трансформация переменного тока (56). Резисторы (58). Конденсаторы (60). Маркировка малогабаритных резисторов и конденсаторов (65). Коротко о плавком предохранителе (66). Осторожно — высокое напряжение! (67)

БЕСЕДА ПЯТАЯ.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ 68

Полупроводники и их свойства (68). Электропроводность полупроводника (69). Полупроводниковые диоды (72). Стабилитрон и его применение (77). Биполярные транзисторы (78). Транзистор-усилитель (80). Схемы включения и основные параметры биполярных транзисторов (83). Коротко о полевом транзисторе (85). О мерах предосторожности при монтаже транзисторов (86)

БЕСЕДА ШЕСТАЯ.

ПЕРВЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРИЕМНИК 88

От детекторного — к однотранзисторному приемнику (88). Варианты однотранзисторного приемника (91). Громкий радиоприем (93) 93

БЕСЕДА СЕДЬМАЯ.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ 95

Измерительные пробники (96). Измерительный прибор магнитоэлектрической системы (99). Миллиамперметр (102). Вольтметр (103). Омметр (104). Миллиампервольтомметр (105). Измерение основных параметров транзисторов (110).

БЕСЕДА ВОСЬМАЯ.

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКАЯ МАСТЕРСКАЯ 114

Рабочий стол (114). Искусство пайки (115). О некоторых материалах и приемах монтажа (117). О гнездах, зажимах и коммутационных устройствах (120). Катушки индуктивности (125). Магнитная антенна (128). Макетная панель (130). Печатный монтаж (133). Верстачная доска (134) 134

БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ.

ЗНАКОМСТВО С МИКРОСХЕМАМИ 136

Что такое микросхема (136). На аналоговой микросхеме (137). Цифровая микросхема (142). На одной цифровой микросхеме (145). Коротко о монтаже микросхем и мерах предосторожности (149) 149

БЕСЕДА ДЕСЯТАЯ.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ 151

Гальванические элементы и батареи (151). Аккумуляторы и аккумуляторные батареи (154). Выпрямитель (156). Самодельный сетевой трансформатор (157). Сетевой блок питания (158) 158

БЕСЕДА ОДИННАДЦАТАЯ.

УСИЛИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ 163

Структурная схема и основные параметры усилителя ЗЧ (163). Звукосниматели (164). Головки динамические прямого излучения и громкоговорители (166). Каскады усилителя (169). Простые двухкаскадные (170). Двусторонний телефон (173). Стабилизация режима работы транзистора (175). Двухтактный усилитель мощности (177). Двухкаскадный с повышенной выходной мощностью (178). Трехкаскадный с улучшенными характеристиками (180). На микросхеме К1749И7 (181). На полевом транзисторе и интегральной микросхеме (183). Электрофон (185). Усилитель переносного радиоузла (190) 190

БЕСЕДА ДВЕНАДЦАТАЯ.

ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ 195

От усилителя — к приемнику прямого усиления (195). Усилитель радиочастоты и магнитная антенна (197). Портативный приемник (199). Радиочастотный блок радиолы (205). Приемник «Мальчиш» (207). На микросхемах серии К118 (210). Миниатюрный на цифровой микросхеме (212) ... 212

БЕСЕДА ТРИНАДЦАТАЯ.

СУПЕРГЕТЕРОДИНЫ 215

Принцип работы супергетеродина (215). Преобразователь частоты (216). Радиочастотный тракт супергетеродина (217). Трехдиапазонный с отдельным гетеродином (221). На микросхемах серии К224 (227). Супергетеродин IV-го класса (231) 231

БЕСЕДА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

О МУЛЬТИВИБРАТОРЕ И ЕГО «ПРОФЕССИЯХ» ... 236

Транзисторный мультивибратор и его работа (236). Генераторы и переключатели (239). Мультивибратор в радиотехнических игрушках и аттракционах (242). Электронный «соловей» (248). Ждущий мультивибратор (252) ... 252

БЕСЕДА ПЯТНАДЦАТАЯ.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ... 254

Мостовой измеритель (254). Транзисторный вольтметр постоянного тока (258). Измерительные генераторы сигналов звуковой частоты (260). Простой низкочастотный частотомер (000) ... 264

БЕСЕДА ШЕСТНАДЦАТАЯ.

СТЕРЕОФОНИЯ ... 270

Стереоэффект. Что это такое? (270). Стереофонический звукосниматель (271). Стереофония на головные телефоны (272). Стереофонический комплекс (276) ... 276

БЕСЕДА СЕМНАДЦАТАЯ.

ОТ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ—К ЦИФРОВОМУ ЧАСТОТОМЕРУ ... 281

Индикатор уровней напряжения (282). Генератор испытательных импульсов (282). Триггеры (284). Счетчики импульсов и делители частоты (290). Блок цифровой индикации (293). Цифровой частотомер (294) ... 294

БЕСЕДА ВОСЕМНАДЦАТАЯ.

АВТОМАТИКА ... 306

Фотоэлементы (306). Электромагнитное реле (309). Электронное реле (311). Фотореле (312). Автомат включения уличного освещения (314). Реле выдержки времени (315). Акустическое реле (316). Электронный сторож (318). Кодовые замки (319). Автоматы световых эффектов (324). Игровые автоматы (327) ... 327

БЕСЕДА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ.

ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЯМИ ... 330

Модель идет на свет (331). Дешифратор (332). Модель, управляемая звуком (333). Аппаратура радиоуправления моделями (339) ... 339

БЕСЕДА ДВАДЦАТАЯ.

ЗНАКОМСТВО С ЭЛЕКТРО- И ЦВЕТОМУЗЫКОЙ ... 347

О некоторых свойствах музыкального звука (347). Терменвокс (348). Электронный рояль (349). Электрогитара (353). О цветомузыке (355). Цветомузыкальная приставка (355). Светодинамическая установка (357) ... 357

БЕСЕДА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ.

ПРИГЛАШЕНИЕ В РАДИОСПОРТ ... 363

Что такое «лиса»? (363). Радиокомпас (365). Приемник «лисолова» (368). На соревнованиях (378). Радиоспортсмены-коротковолновики (379). Приемник начинающего коротковолновика-наблюдателя (380) ... 380

Заключение ... 390

Приложения ... 392

1. Международная система единиц (392). 2. Условные буквенно-цифровые обозначения на электрических схемах (393). 3. Номиналы конденсаторов и резисторов широкого применения (395). 4. Цветовая маркировка постоянных резисторов (395). 5. Гальванические элементы и батареи (396). 6. Малогабаритные аккумуляторы и аккумуляторные батареи (397). 7. Полупроводниковые диоды (397). 8. Биполярные транзисторы малой мощности (398). 9. Полевые транзисторы (401). 10. Стабилитроны кремниевые малой мощности (402). 11. Трансформаторы типа ТВК (402). 12. Головки динамического прямого излучения (403). 13. Малогабаритные реле постоянного тока (404) 404

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1160

БОРИСОВ ВИКТОР ГАВРИЛОВИЧ

ЮНЫЙ РАДИОЛЮБИТЕЛЬ

Редактор Т. В. Жукова
Обложка художника Е. С. Шабельника
Художественный редактор Н С Шеин
Технические редакторы Г. З. Кузнецова, Л. А. Горшкова
Корректор Н. Л. Жукова

ИБ № 2131

Сдано в набор 04.02.91. Подписано в печать 17.02.92. Формат $70\times100^{1}/_{16}$. Бумага для множительных аппаратов. Гарнитура «Литературная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 33,80. Усл. кр.-отт. 68,25. Уч.-изд. л. 45,38. Тираж 50 000 экз. Изд. № 22908. Зак. № 7671. С=059.

Издательство «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693.

Набрано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Министерства печати и информации РФ.
113054, Москва, Валовая, 28.

Печать и изготовление тиража в АО «Молодая гвардия». 103030, Москва, Сущевская, 21.

Нашим читателям

Издательство "РАДИО И СВЯЗЬ" книги не высылает. Литературу по вопросам радиоэлектроники и радиолюбительства можно приобрести в магазинах научно-технической книги.

Для сведения сообщаем, что по вопросам переделки и усовершенствования конструкций издательство и авторы консультацию не дают.

По этим вопросам следует обратиться в письменную радиотехническую консультацию Центрального радиоклуба им. Э.Т. Кренкеля по адресу:

103 012 Москва, К-12, ул. Куйбышева, д. 4/2, пом. 12.

Издательство не имеет возможности оказать помощь в приобретении нужных вам радиотоваров и не располагает сведениями о наличии их в торговых организациях.

КНИЖНЫЕ МАГАЗИНЫ — ОПОРНЫЕ ПУНКТЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «РАДИО И СВЯЗЬ»

111024 Москва, шоссе Энтузиастов, 24/43, магазин №15
197198 Санкт-Петербург ПС, Большой пр., 34, магазин №55
700070 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43, магазин № 21
226050 Рига, бульвар Падомью, 17, магазин "Гайсма"
634032 Томск, ул. Нахимова, 15/1, магазин №2
503000 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 110, магазин №9
630091 Новосибирск, Красный пр., 60, магазин №7 "Техническая книга"
443090 Самара, ул. Советской Армии, 124, магазин №16 "Техническая книга"
173016 Новгород, Ленинградская ул., 13, магазин №2"Прометей"

ПРЕДЛАГАЕМ

**организациям, предприятиям,
кооперативам
и совместным предприятиям!**

Публиковать текстовую рекламную информацию о разработках Вашей отрасли, изделиях Ваших предприятий в книгах нашего издательства.

Текст для публикации должен быть отпечатан в двух экземплярах. Желательно, чтобы объем материала не превышал одной машинописной страницы.

Ориентировочная стоимость публикации одной машинописной страницы от 1000 до 5000 рублей.

Срок публикования до трех месяцев.

В сопроводительном письме надо указать: гарантии оплаты за публикацию, номер Вашего расчетного счета и отделение Госбанка.

НАШ АДРЕС: 101000, Москва, ул. Мясницкая, 40,

ИЗДАТЕЛЬСТВО "РАДИО И СВЯЗЬ"

телефон 923-49-04

В 1992 г. В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "РАДИО И СВЯЗЬ" В СЕРИИ "МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА"

Выйдут книги

БЕЛОВ И.Ф. СПРАВОЧНИК ПО ПЕРЕНОСНЫМ И АВТОМОБИЛЬНЫМ РАДИОПРИЕМНИКАМ И МАГНИТОЛАМ.

Приведены основные технические характеристики и краткие описания переносных и автомобильных радиоприемников и кассетных магнитол, выпущенных отечественной промышленностью в 1986-1989 гг. Даны сведения, необходимые для их ремонта и настройки: принципиальные электрические и электромонтажные схемы, режимы работы транзисторов и микросхем, намоточные данные, распайка выводов катушек контуров и трансформаторов.

Для подготовленных радиолюбителей.

БИРЮКОВ С.А. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА МОП-ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ.

Приведены принципиальные схемы бестрансформаторных одноплатных электронных часов и будильников на микросхемах К176ИЕ2, К176ИЕ3, К176ИЕ4, К176ИЕ5, К176ИЕ12, специализированных комплектах К176ИЕ18, К176ИЕ13, К176ИД2 (ИД3), БИС К145ИК1901, КА1П16ХЛ1, а также простейшего прибора для точной настройки кварцевых генераторов электронных часов на частоту 32 768 Гц. Приведены чертежи печатных плат, примеры конструктивного оформления, рекомендации по настройке.

Для радиолюбителей, знакомых с основами цифровой техники.

БОРИСОВ В.Г., ФРОЛОВ В.В. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НАЧИНАЮЩЕГО РАДИОЛЮБИТЕЛЯ.

Рассказывается об электрических измерениях, самостоятельном конструировании простых измерительных приборов, необходимых при подборе деталей, монтаже, испытании и налаживании различных радиотехнических устройств и работе с ними. В книге учтены замечания и пожелания, высказанные читателями первого издания (1976 г.): комплект измерительных приборов дополнен частотомером, испытатель транзисторов заменен улучшенным вариантом, усовершенствован сетевой блок питания лаборатории.

Для широкого круга радиолюбителей.

ГЕДЗБЕРГ Ю.М. РЕМОНТ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ТЕЛЕВИЗОРОВ.

Рассмотрены схемы черно-белых переносных телевизоров, приведены их технические характеристики, проанализированы возможные неисправности. На примере "Шилялис-405Д-1" подробно рассмотрены приемы поиска дефектов.

Для подготовленных радиолюбителей.

ЕВСЕЕВ А.Н. РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ.

Описаны различные по сложности и функциональному назначению устройства для установления телефонной связи между абонентами, а также приставки к телефонным аппаратам. Эти устройства могут быть использованы для организации связи на небольших предприятиях, в колхозах и совхозах, школах, дворцах культуры и др. К устройствам подключается до 10 абонентов, но число легко увеличивается до нескольких десятков.

Для широкого круга радиолюбителей.

ДРАБКИН А.Л., КОРЕНБЕРГ Е.Б. АНТЕННЫ.

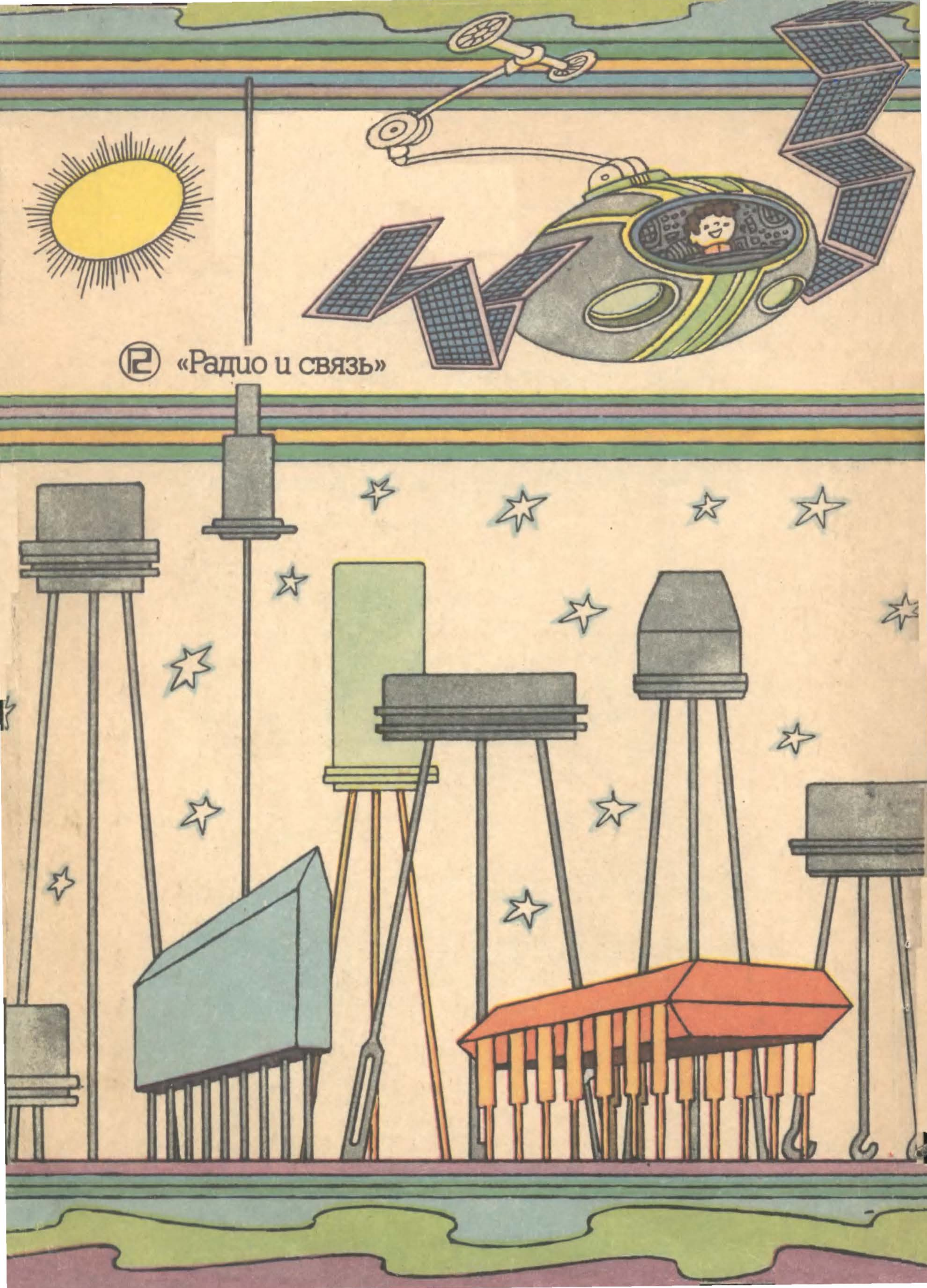
В популярной форме дается общее представление об антенной технике. Основное внимание уделяется физической стороне явлений, электрическим характеристикам и практическому исполнению антенных устройств, в частности антенн для радиолюбителей. Рассматриваются особенности работы антенн различного назначения и для разных диапазонов волн.

Для широкого круга радиолюбителей.

НЕЧАЕВ И.А. КОНСТРУКЦИИ НА ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ.

Рассмотрено использование логических элементов цифровых микросхем для построения различных узлов радиоэлектронной аппаратуры. Даны описания практических конструкций на основе этих узлов: контрольно-измерительные приборы, устройства бытового назначения, игрушки и т.д. Для каждой конструкции приведены чертежи печатных плат и даны рекомендации по замене радиодеталей.

Для широкого круга радиолюбителей.



«Радио и связь»